

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-122146

(43)Date of publication of application : 08.05.2001

(51)Int.CI.

B62D 6/00

B62D 5/04

// B62D101:00

B62D119:00

B62D137:00

(21)Application number : 2000-016026 (71)Applicant : MITSUBISHI

ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 25.01.2000 (72)Inventor : KURISHIGE MASAHIKO

INOUE TOMOYUKI

NISHIYAMA RYOJI

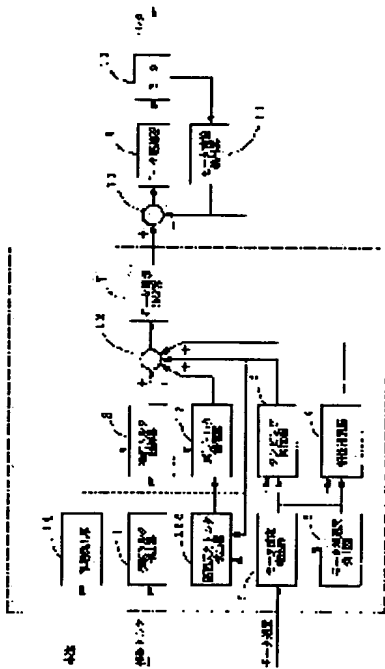
KIFUKU TAKAYUKI

WADA SHUNICHI

(30)Priority

Priority	11233285	Priority	19.08.1999	Priority	JP
number :		date :		country :	

(54) ELECTRIC POWER STEERING CONTROLLER AND ITS CONTROL METHOD



(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve steering wheel returning abilities in a low speed range and during fine steering.

SOLUTION: This controller is provided with a road surface reaction force detector 15S of a constitution for detecting a road surface reaction torque signal Trea-est from a steering torque signal Tsens, a motor acceleration signal $d\delta$ (steering wheel shaft roll acceleration), and a motor current signal Imtr, and a return torque compensator 17 for generating a torque in a motor 10 in a direction

returning a steering wheel to a home position on the basis of the signal Trea-est, for controlling the torque of the motor 10.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 26.10.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 28.05.2002

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3353770

[Date of registration] 27.09.2002

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2002-11752

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 27.06.2002

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

【特許請求の範囲】

【請求項1】 運転者による操舵トルクを補助するトルクを発生させるモータを備え、ステアリング系の操舵力を補助する電動式パワーステアリング制御装置において、タイヤが路面から受ける路面反力トルクを検出する路面反力トルク検出手段を設けるとともに、上記路面反力トルク検出手段で検出された路面反力トルクに基づいて、上記モータのトルクを制御する路面反力トルク付加制御手段を設けたことを特徴とする電動式パワーステアリング制御装置。

【請求項2】 運転者による操舵トルクを検出する操舵トルク検出手段と、上記操舵トルク検出手段の出力に基づいて、上記モータのトルクを制御する操舵アシスト制御手段を設けたことを特徴とする請求項1記載の電動式パワーステアリング制御装置。

【請求項3】 上記路面反力トルク付加制御手段の制御量を、路面反力トルク検出手段の出力に対し1段もしくは複数段のゲインを乗じて得られる値とするとともに、上記制御量の最大値をリミットにより制限したことを特徴とする請求項1または請求項2記載の電動式パワーステアリング制御装置。

【請求項4】 車速を検出する車速検出手段を設けるとともに、この車速検出手段の出力に応じて、上記ゲイン及びリミットの値を設定するようにしたことを特徴とする請求項3記載の電動式パワーステアリング制御装置。

【請求項5】 上記ゲイン及びリミットの値を、駐車時等の極低速を除き、車速が低い場合に路面反力トルク付加制御手段の出力が大きくなるように設定したことを特徴とする請求項4記載の電動式パワーステアリング制御装置。

【請求項6】 モータに流れる電流を検出するモータ電流検出手段と、モータの回転角加速度を検出するモータ回転角加速度検出手段とを設けるとともに、路面反力トルク検出手段を、操舵トルク検出手段の出力と上記モータ電流検出手段の出力から演算されるステアリング軸換算のモータトルクとを加算した値から、上記回転角加速度検出手段の出力から演算されるステアリング軸換算のモータ慣性トルクを減算して得られた値をローパスフィルタを通し、路面反力トルク検出値を得る構成としたことを特徴とする請求項2～請求項5のいずれか記載の電動式パワーステアリング制御装置。

【請求項7】 モータに流れる電流を検出するモータ電流検出手段を設けるとともに、路面反力トルク検出手段を、操舵トルク検出手段の出力と上記モータ電流検出手段の出力から演算されるステアリング軸換算のモータトルクとを加算して得られた値をローパスフィルタを通し、路面反力トルク検出値を得る構成としたことを特徴とする請求項2～請求項5のいずれか記載の電動式パワーステアリング制御装置。

【請求項8】 モータの回転角加速度を検出するモータ

回転角加速度検出手段を設けるとともに、路面反力トルク検出手段を、操舵トルク検出手段の出力と上記回転角加速度検出手段の出力から演算されるステアリング軸換算のモータ慣性トルクを減算して得られた値をローパスフィルタを通し、路面反力トルク検出値を得る構成としたことを特徴とする請求項2～請求項5のいずれか記載の電動式パワーステアリング制御装置。

【請求項9】 モータの発生するトルクを検出するモータトルク検出手段と、モータの回転角加速度を検出するモータ回転角加速度検出手段とを設けるとともに、路面反力トルク検出手段を、操舵トルク検出手段の出力と上記モータトルク検出手段の出力とを加算した値から、上記回転角加速度検出手段の出力から演算されるステアリング軸換算のモータ慣性トルクを減算して得られた値をローパスフィルタを通し、路面反力トルク検出値を得る構成としたことを特徴とする請求項2～請求項5のいずれか記載の電動式パワーステアリング制御装置。

【請求項10】 モータの回転角加速度を検出するモータ回転角加速度検出手段を設けるとともに、路面反力トルク検出手段を、操舵トルク検出手段の出力と上記モータを駆動する電流の目標値から演算されるステアリング軸換算のモータトルクの目標値とを加算した値から、上記回転角加速度検出手段の出力から演算されるステアリング軸換算のモータ慣性トルクを減算して得られた値をローパスフィルタを通し、路面反力トルク検出値を得る構成としたことを特徴とする請求項2～請求項5のいずれか記載の電動式パワーステアリング制御装置。

【請求項11】 モータに流れる電流を検出するモータ電流検出手段を設けるとともに、路面反力トルク検出手段を、モータ電流検出手段の出力から演算されるステアリング軸換算のモータトルク値をローパスフィルタを通し、路面反力トルク検出値を得る構成としたことを特徴とする請求項2～請求項5のいずれか記載の電動式パワーステアリング制御装置。

【請求項12】 モータに流れる電流を検出するモータ電流検出手段と、モータに接続された電源電圧を検出する電源電圧検出手段とを設けるとともに、上記回転角加速度検出手段を、上記電源電圧検出手段の出力とモータを駆動する際のPWM信号のデューティ比の積と上記モータ電流検出手段の出力とから演算する構成としたことを特徴とする請求項2～請求項10のいずれか記載の電動式パワーステアリング制御装置。

【請求項13】 路面反力トルク検出手段を、操舵トルク検出手段の出力をローパスフィルタを通して得る構成としたことを特徴とする請求項2～請求項5のいずれか記載の電動式パワーステアリング制御装置。

【請求項14】 上記ローパスフィルタの折点周波数を、運転者が一般に操舵を行う周波数帯域で、かつ、ステアリング機構の摩擦トルクが路面反力トルク検出値へ及ぼす検出誤差への影響を最小限とするように設定した

ことを特徴とする請求項6～請求項12のいずれか記載の記載の電動式パワーステアリング制御装置。

【請求項15】 路面反力トルク検出手段のローパスフィルタの折点周波数を、車速検出手段の出力に応じて設定するようにしたことを特徴とする請求項6～請求項12のいずれか記載の電動式パワーステアリング制御装置。

【請求項16】 操舵トルク検出手段の出力を、ローパスフィルタを通して路面反力トルク検出手段に入力するようにしたことを特徴とする請求項2～請求項12のいずれか記載の電動式パワーステアリング制御装置。

【請求項17】 請求項6～請求項13のいずれか記載の路面反力トルク検出手段に入力される操舵トルク検出手段の出力が、操舵トルク信号の0付近に不感帯を有するようにしたことを特徴とする電動式パワーステアリング制御装置。

【請求項18】 請求項1～請求項13のいずれか記載の路面反力トルク検出手段の出力が、路面反力トルクの0付近に不感帯を有するようにしたことを特徴とする電動式パワーステアリング制御装置。

【請求項19】 路面反力トルク付加制御手段を、ラックに、歪み測定を設けて構成したことを特徴とする請求項1～請求項5のいずれか記載の電動式パワーステアリング制御装置。

【請求項20】 タイヤが路面から受ける路面反力トルクを検出し、この路面反力トルクに基づいて、ステアリング系の操舵力を補助するトルクを発生させるモータを制御するようにしたことを特徴とする電動式パワーステアリング制御装置の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、モータにより、運転者による操舵トルクを補助するトルクを発生させ、ステアリング系の操舵力を補助する自動車用の電動式パワーステアリング制御装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】図36は、例えば、特開平7-186994号公報に記載された、従来の電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図で、同図において、1は運転者が操舵した場合の操舵トルクを検出する操舵トルク検出器、2は操舵トルク検出器1の出力に基づいて補助トルク信号を演算する操舵トルク制御器、3はモータ速度検出器5の出力に基づいてダンピング補償信号を演算するダンピング補償器、4はモータ加速度検出器6の出力に基づいて慣性補償信号を演算する慣性補償器である。7は第1の加算器12で演算された補助トルク信号、ダンピング補償信号及び慣性補償信号の和である目標トルクから目標電流信号を演算するモータ電流決定器、8は操舵トルク検出器1の出力とモータ速度検出器5の出力とが同一方向であるか否かを判定すると

もに、この判定結果を操舵トルク制御器2、ダンピング補償器3及び慣性補償器4にそれぞれ出力する判定器、9は第2の加算器13で得られた、目標電流信号とモータ電流検出器11で検出されたモータ電流値との誤差に基づいてモータ10に印加する電圧を決定するとともに、モータ10に上記電圧を印加するモータ駆動器で、モータ10では、印加された上記電圧に応じてモータ電流値が応答し、モータ電流値に略比例関係にあるアシストトルクを発生してステアリング機構を駆動する。また、14は車速を検出するとともに、検出された車速信号を操舵トルク制御器2、ダンピング補償器3及び慣性補償器4に出力する車速検出器である。

【0003】次に、従来の電動式パワーステアリング制御装置の動作について説明する。自動車の運転者がハンドルを操舵すると、その時の操舵トルクは操舵トルク検出器1で測定され、操舵トルク制御器2に出力される。操舵トルク制御器2では、上記操舵トルク検出器1の出力信号に略比例関係にある補助トルク信号を演算し、この補助トルク信号に基づいてモータ10を駆動して運転者の操舵トルクをアシストすることにより、運転者による操舵トルクを軽減する。このとき、判定器8では、操舵トルク検出器1の出力とモータ速度検出器5の出力とが同一であるか否かを判定し、同一であればダンピング補償器3及び慣性補償器4は動作させず、操舵トルク制御器2において、操舵トルク検出器1の出力と車速検出器14からの車速信号とに応じて決定された補助トルク信号に基づいて目標トルクを定めるとともに、モータ電流決定器7によりモータ駆動電流を定める。また、同一でない場合には、操舵トルク制御器2は動作させず、ダンピング補償器3と慣性補償器4との出力に基づいて目標トルクを定めるとともに、モータ電流決定器7によりモータ駆動電流を定める。なお、この時、車速が低速の場合には、目標トルクの方向がモータ回転方向と同一方向となるように、また車速が高速の場合は、モータ回転方向と逆方向となるようにしている。したがって、ドライバがハンドルを切り込んでいる場合には、操舵に必要なトルクを軽減するように運転者の操舵トルクをアシストする。また、ドライバがハンドルを戻している場合には、車速が低速である時にはハンドルが原点に戻るのを補助し、車速が高速である時にはハンドルが過度な回転速度で戻ろうとするのを防止するようにモータ10が制御される。

【0004】ドライバは、一般に、道路の湾曲部や交差点を曲がる際に操舵し、その後直線走行に復帰する際に、タイヤの路面反力トルクによるハンドルの自発的な戻り力を利用してハンドルを戻すことを行う。しかしながら、車速が低速時や高速時の微小操舵時にはタイヤの路面反力トルクが弱いため、上記路面反力トルクがステアリング機構内の摩擦トルク以下となってしまう、直線復帰時にハンドルが戻らない場合が多い。したがって、

この場合には、ドライバがハンドルにトルクを加えてハンドルを戻さなければならず、そのため操舵フィーリングが低下してしまうといった問題点があった。これに対して、従来の技術では、車速が低速時に、操舵トルク検出器1の出力とモータ加速度検出器6の出力とが同一であるか否かを判定し、異なる場合には、モータ回転方向と同一方向にモータ10を回転させるようにモータ駆動電流を定めることにより、上記低速におけるハンドル戻り性を向上させている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の技術では、低速で交差点を曲がる場合や、高速で緩い道路の湾曲部を曲がる場合のように、タイヤの路面反力トルクが小さい範囲で操舵した場合には、ドライバがハンドルを戻す方向にトルクを加えないとハンドルが止まってしまうため、モータ10は回転しない。したがって、判定器8では、操舵トルク検出器1の出力とモータ速度検出器5の出力とが同一であるか否かを判定することができないので、モータ回転方向と同一方向にモータを回転させるようにモータ駆動電流を定めることができず、ハンドル戻り性を向上させることができないといった問題点があった。更に、上記従来の技術では、高速走行時には、モータ回転方向と逆方向にモータを回転させるようにモータ駆動電流を定めることしかできないので、ハンドル戻り性を向上させることができない等の問題点があった。

【0006】本発明は、上記問題点を解決するためになされたもので、低速で交差点を曲がる場合や、高速で緩い道路の湾曲部を曲がる場合等のように、タイヤの路面反力トルクが小さい範囲で操舵した際に、ドライバがハンドルを戻す方向にトルクを加えること無くハンドルを戻すことができる電動式ステアリング装置を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の請求項1に記載の電動式パワーステアリング制御装置は、タイヤが路面から受ける路面反力トルクを検出する路面反力トルク検出手段を設けるとともに、上記路面反力トルク検出手段で検出された路面反力トルクに基づいて、運転者による操舵トルクを補助するモータのトルクを制御する路面反力トルク付加制御手段を設けたものである。

【0008】請求項2に記載の電動式パワーステアリング制御装置は、請求項1の構成に加え、運転者による操舵トルクを検出する操舵トルク検出手段と、上記操舵トルク検出手段の出力に基づいて、上記モータのトルクを制御する操舵アシスト制御手段を設けたものである。

【0009】請求項3に記載の電動式パワーステアリング制御装置は、上記路面反力トルク付加制御手段の制御量を、路面反力トルク検出手段の出力に対し1段もしくは複数段のゲインを乗じて得られる値とするとともに、

上記制御量の最大値をリミッタにより制限したものである。

【0010】請求項4に記載の電動式パワーステアリング制御装置は、車速を検出する車速検出手段を設けるとともに、この車速検出手段の出力に応じて、上記ゲイン及びリミッタの値を設定するようにしたものである。

【0011】請求項5に記載の電動式パワーステアリング制御装置は、上記ゲイン及びリミッタの値を、駐車時等の極低速を除き、車速が低い場合に路面反力トルク付加制御手段の出力が大きくなるように設定したものである。

【0012】請求項6に記載の電動式パワーステアリング制御装置は、モータに流れる電流を検出するモータ電流検出手段と、モータの回転角加速度を検出するモータ回転角加速度検出手段とを設けるとともに、路面反力トルク検出手段を、操舵トルク検出手段の出力と上記モータ電流検出手段の出力から演算されるステアリング軸換算のモータトルクとを加算した値から、上記回転角加速度検出手段の出力から演算されるステアリング軸換算のモータ慣性トルクを減算して得られた値をローパスフィルタを通し、路面反力トルク検出値を得る構成としたものである。

【0013】請求項7に記載の電動式パワーステアリング制御装置は、モータに流れる電流を検出するモータ電流検出手段を設けるとともに、路面反力トルク検出手段を、操舵トルク検出手段の出力と上記モータ電流検出手段の出力から演算されるステアリング軸換算のモータトルクとを加算して得られた値をローパスフィルタを通し、路面反力トルク検出値を得る構成としたものである。

【0014】請求項8に記載の電動式パワーステアリング制御装置は、モータの回転角加速度を検出するモータ回転角加速度検出手段を設けるとともに、路面反力トルク検出手段を、操舵トルク検出手段の出力と上記回転角加速度検出手段の出力から演算されるステアリング軸換算のモータ慣性トルクを減算して得られた値をローパスフィルタを通し、路面反力トルク検出値を得る構成としたものである。

【0015】請求項9に記載の電動式パワーステアリング制御装置は、モータの発生するトルクを検出するモータトルク検出手段と、モータの回転角加速度を検出するモータ回転角加速度検出手段とを設けるとともに、路面反力トルク検出手段を、操舵トルク検出手段の出力と上記モータトルク検出手段の出力とを加算した値から、上記回転角加速度検出手段の出力から演算されるステアリング軸換算のモータ慣性トルクを減算して得られた値をローパスフィルタを通し、路面反力トルク検出値を得る構成としたものである。

【0016】請求項10に記載の電動式パワーステアリング制御装置は、モータの回転角加速度を検出するモータ

タ回転角加速度検出手段を設けるとともに、路面反力トルク検出手段を、操舵トルク検出手段の出力と上記モータを駆動する電流の目標値から演算されるステアリング軸換算のモータトルクの目標値とを加算した値から、上記回転角加速度検出手段の出力から演算されるステアリング軸換算のモータ慣性トルクを減算して得られた値をローパスフィルタを通し、路面反力トルク検出値を得る構成としたものである。

【0017】請求項11に記載の電動式パワーステアリング制御装置は、モータに流れる電流を検出するモータ電流検出手段を設けるとともに、路面反力トルク検出手段を、モータ電流検出手段の出力から演算されるステアリング軸換算のモータトルク値をローパスフィルタを通し、路面反力トルク検出値を得る構成としたものである。

【0018】請求項12に記載の電動式パワーステアリング制御装置は、モータに流れる電流を検出するモータ電流検出手段と、モータに接続された電源電圧を検出する電源電圧検出手段を設けるとともに、上記回転角加速度検出手段を、上記電源電圧検出手段の出力とモータを駆動する際のPWM信号のデューティ比の積と上記モータ電流検出手段の出力とから演算する構成としたものである。

【0019】請求項13に記載の電動式パワーステアリング制御装置は、路面反力トルク検出手段を、操舵トルク検出手段の出力をローパスフィルタを通して得る構成としたものである。

【0020】請求項14に記載の電動式パワーステアリング制御装置は、上記ローパスフィルタの折点周波数を、運転者が一般に操舵を行う周波数帯域で、かつ、ステアリング機構の摩擦トルクが路面反力トルク検出値へ及ぼす検出誤差への影響を最小限とするように設定したものである。

【0021】請求項15に記載の電動式パワーステアリング制御装置は、路面反力トルク検出手段のローパスフィルタの折点周波数を、車速検出手段の出力に応じて設定するようにしたものである。

【0022】請求項16に記載の電動式パワーステアリング制御装置は、操舵トルク検出手段の出力を、ローパスフィルタを通して路面反力トルク検出手段に入力するようにしたものである。

【0023】請求項17に記載の電動式パワーステアリング制御装置は、請求項6～請求項11のいずれか記載の路面反力トルク検出手段に入力される操舵トルク検出手段の出力が、操舵トルク信号の0付近に不感帯を有するようにしたものである。

【0024】請求項18に記載の電動式パワーステアリング制御装置は、請求項1～請求項13のいずれか記載の路面反力トルク検出手段の出力が、路面反力トルクの0付近に不感帯を有するようにしたものである。

【0025】請求項19に記載の電動式パワーステアリング制御装置は、請求項1～請求項5のいずれか記載の路面反力トルク付加制御手段を、ラックに歪み測定を設けて構成したものである。

【0026】請求項20に記載の電動式パワーステアリング制御装置の制御方法は、タイヤが路面から受ける路面反力トルクを検出し、この路面反力トルクに基づいて、ステアリング系の操舵力を補助するトルクを発生させるモータを制御するようにしたことを特徴とする。

【0027】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について、図面に基づき説明する。なお、以下の説明中、従来例と共通する部分については同一符号を付し、その説明を省略する。また、本発明は、マイコンのソフトウェアのみで従来の技術の課題を解決可能であり、制御装置のハードウェアについては従来の技術のものの変更点はないので説明は省略する。

【0028】実施の形態1. 図1は、本発明の実施の形態1に係わる電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図で、同図において、15は前輪の舵角、即ち、ハンドルを原点に復帰させようとする路面反力トルクを検出するための路面反力トルク検出手段である路面反力トルク検出器、16は上記路面反力トルク検出器15で検出された路面反力トルク信号に基づいて、モータ10に上記検出された路面反力トルクと逆方向にトルクを発生させるための切り込み補助トルク信号を出力する切り込みトルク制御器、17は上記路面反力トルク信号に基づいて、モータ10にハンドルを原点に復帰させる方向にトルクを発生させるためのハンドル戻し補助トルク信号を出力する戻しトルク補償器で、本実施の形態1では、上記切り込みトルク制御器16及び戻しトルク補償器17が、検出された路面反力トルクに基づいて、モータ10のトルクを制御する路面反力トルク付加制御手段となる。上記路面反力トルク検出器15は、例えば、前輪とステアリング軸とを連結するラックの前輪側の片側または両側に、ロードセルや歪みゲージのような歪み測定手段を配置して成り、前輪のタイヤからの路面反力トルク T_{react} により上記ラックに作用する圧縮力をラックの歪み量として検出し、この歪み量から算出された上記圧縮力に、ラックとタイヤの回転中心のオフセット X_{offset} を乗じることにより路面反力トルク T_{react} を検出する。

【0029】3はモータ速度検出器5で検出したモータ速度信号に基づいてダンピング補償信号を演算するダンピング補償器、4はモータ加速度検出器6にて検出したモータ加速度信号に基づいて慣性補償信号を演算する慣性補償器、7は第1の加算器12で演算された、切り込み補助トルク信号、ハンドル戻し補助トルク信号、ダンピング補償信号及び慣性補償信号の和である目標トルクから、目標電流信号を演算するモータ電流決定器、9は

第2の加算器13で得られた上記目標電流信号とモータ電流検出器11で検出されたモータ電流信号との誤差に基づいてモータ10に印加する電圧を決定するとともに、モータ10に上記電圧を印加するモータ駆動器で、モータ10は、印加された上記電圧に応じてモータ電流値が応答し、モータ電流値に略比例関係にあるトルクを発生してステアリング機構を駆動する。また、14は車速を検出するとともに、検出された車速信号を切り込みトルク制御器16、戻しトルク補償器17、ダンピング補償器3及び慣性補償器4に出力する車速検出器である。

【0030】次に、上記構成の電動式パワーステアリング制御装置の動作について、図2のフローチャートに基づき説明する。なお、従来の技術と異なる点は、図1のブロック図中の一点鎖線で囲まれた、目標電流を演算するまでのアルゴリズムであり、モータ電流の制御に関しては、例えばPID式の電流 F/B 制御、あるいは目標電流とモータ速度信号とに基づくオープンループ制御等の一般的に行われる制御を行う。また、制御方式としては、デジタル制御またはアナログ制御いずれの方式に基づいて実施してもよい。以下では目標電流を演算するまでのアルゴリズムに限定して説明を行う。まず、ステップS101では、路面反力トルク検出器15で検出された路面反力トルク信号を読み込みメモリに記憶する。次に、ステップS102で、モータ速度検出器5で検出されたモータ速度信号を読み込みメモリに記憶する。ステップS103では、モータ加速度検出器6において、上記モータ速度信号を微分演算してモータ加速度信号を得、これをメモリに記憶する。ステップS104では、切り込みトルク制御器16において、上記路面反力トルク信号に対してマップ演算し、切り込み補助トルク信号を求めてメモリに記憶する。この時、上記切り込み補助トルク信号は、上記路面反力トルクと逆方向にモータ10がトルクを発生するように上記マップを定めておく。次に、ステップS105で、戻しトルク補償器17において、上記路面反力トルク信号に対してマップ演算し、ハンドル戻し補助トルク信号を求めてメモリに記憶する。ここで、上記ハンドル戻し補助トルク信号は、路面反力トルクがステアリング機構内の摩擦トルクより小さい時にハンドルが自動的に原点に復帰しない現象を避けるためのもので、図3に示すように、ステアリング機構内の概ね摩擦トルク程度の値を上限としてリミッタで制限し、上記リミッタの範囲内では路面反力トルク信号に比例ゲインを乗じて求める。次に、ステップS106で、ダンピング補償器3により、モータ速度信号に比例ゲインを乗じてダンピング補償信号を求めメモリに記憶し、ステップS107で、慣性補償器4により、モータ加速度信号に比例ゲインを乗じて慣性補償信号を求めメモリに記憶する。次に、ステップS108に進み、第1の加算器12により、上記各ステップS104～S10

7で求められた、切り込み補助トルク信号、ハンドル戻し補助トルク信号、ダンピング補償信号及び慣性補償信号を加算して目標トルクを求め、これをメモリに記憶する。その後、ステップS109で、モータ電流決定器7により、上記ステップS108で求められた目標トルクにゲインを乗じて目標電流を求めてメモリに記憶する。なお、この時のゲインは、モータ10のステアリング軸換算でのトルク定数の逆数としておく。

【0031】なお、上記切り込みトルク制御器16、戻しトルク補償器17、ダンピング補償器3、慣性補償器4のゲイン等の各制御パラメータは、車速検出器14からの車速信号に応じて設定される。この時、ステアリング機構自身のダンピングが強い車両や、ステアリング軸換算の慣性モーメントが小さなモータを装着した車両については、ダンピング補償器3及び慣性補償器4の各ゲインを0としてもよい。したがって、この場合には、モータ速度検出器5、モータ加速度検出器6、ダンピング制御器3及び慣性補償器4は不要となる。また、本実施の形態1で用いるモータ速度検出器5としては、例えばタコジェネレータ等のモータ速度センサを用いてもよいし、ロータリエンコーダのパルス出力を差分してモータ速度を検出するものであってもよいし、あるいはモータに印加する電圧から、モータに通電される電流値とコイル抵抗値の積を減じるなどして得られる逆起電圧からモータ速度を検出する構成のものでもよい。

【0032】一般に、自動車の運転者は、ハンドルを切った後に手を放して路面反力トルクによる自己復元力によりハンドルを中心に戻す場合が多く、これにより操舵の労力を低減している。また、従来の電動式パワーステアリング装置は、モータ10及びギアの摩擦トルクによりハンドルの戻り性が悪い。即ち、操舵トルク信号のみを検出して目標トルクを定める場合には、ハンドルを切った後に手を放すと、操舵トルク信号が0となってしまうので、ハンドル戻しトルクを発生させることができない。更に、操舵トルク信号に加えて、モータ回転信号に基づいて目標トルクを定める場合にもモータ10の回転が止まってしまった場合には、モータ10はハンドルを戻す方向のトルクを発生させることができない。これに対し、本実施の形態1の電動式パワーステアリング装置は、路面反力トルク検出器15を設け、手放しを行った場合でもハンドルの角度に略比例した路面反力トルクを検出して路面反力トルク信号を出力するとともに、路面反力トルク付加制御手段である切り込みトルク制御器16及び戻しトルク補償器17を設けて、上記路面反力トルク信号に応じて、切り込み補助トルク信号とハンドル戻し補助トルク信号とを演算してモータ10のトルクを制御するようにしたので、運転者が手放しを行った後にも、モータ10がハンドル戻し方向にトルクを出力することが可能となり、確実にハンドルを中心に戻すことができる。

【0033】なお、上記本実施の形態1では、図2のステップS104とS105においてはマップ演算をし、ステップS106とS107ではゲインを乗じる演算をする構成としたが、各ステップともゲインを乗じる構成としてもよいし、あるいは、マップ演算とする構成としてもよい。また、ステップS104とS105とをまとめて、切り込み補助トルク信号とハンドル戻し補助トルク信号を合成した1つのマップを準備し、路面反力トルク信号に対して切り込み補助トルク信号とハンドル戻し補助トルク信号との和に相当する路面反力トルク付加制御信号としてマップ演算するようにしてもよい。

【0034】実施の形態2。図4は、本発明の実施の形態2に係わる電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図で、同図において、1は操舵トルクを検出する操舵トルク検出手段である操舵トルク検出器、2は操舵トルク検出器1の出力である操舵トルク信号に基づいて操舵補助トルク信号を演算する操舵アシスト制御手段である操舵トルク制御器、15は前輪の舵角を原点に復帰させようとする路面反力トルクを検出する路面反力トルク検出器、17は上記路面反力トルク検出器の出力である路面反力トルク信号に基づいて、モータ10にハンドルを原点に復帰させる方向にトルクを発生させるためのハンドル戻し補助トルク信号を出力する戻しトルク補償器で、本実施の形態2では、上記戻しトルク補償器17が路面反力トルク付加制御手段を構成する。また、3はダンピング補償器、4は慣性補償器、5はモータ速度検出器、6はモータ加速度検出器、7はモータ電流決定器、9はモータ駆動器、10はモータ、11はモータ電流検出器、12は第1の加算器、13は第2の加算器、14は車速検出器である。

【0035】次に、本実施の形態2の電動式パワーステアリング制御装置の動作について、図5のフローチャートに基づき説明する。なお、以下では、上記実施の形態1と同様に、目標電流を演算するまでのアルゴリズムに限定して説明を行う。まず、ステップS201で、路面反力トルク検出器15で検出された路面反力トルク信号を読み込みメモリに記憶する。次に、ステップS202で、操舵トルク検出器1で検出された操舵トルク信号を読み込みメモリに記憶する。ステップS203では、モータ速度検出器5で検出されたモータ速度信号を読み込みメモリに記憶する。ステップS204では、モータ加速度検出器6において、モータ速度信号を微分演算してモータ加速度信号を得、これをメモリに記憶する。次に、ステップS205～S206では、操舵トルク制御器2において、操舵トルク信号の周波数特性を改善するために、操舵トルク信号をマイコンのS/W上で構成した位相補償器に通して位相補償し、この位相補償された操舵トルク信号に対してマップ演算し、操舵補助トルク信号を求めてメモリに記憶する。次に、ステップS207で、戻しトルク補償器17において、上記路面反力ト

ルク信号に対してマップ演算を行い、ハンドル戻し補助トルク信号を求めてメモリに記憶する。ステップS208では、ダンピング補償器3により、モータ速度信号に比例ゲインを乗じてダンピング補償信号を求めメモリに記憶し、ステップS209では、慣性補償器4により、モータ加速度信号に比例ゲインを乗じて慣性補償信号を求めメモリに記憶する。次に、ステップS210に進み、第1の加算器12により、上記各ステップS206～S209で求められた操舵補助トルク信号、ハンドル戻し補助トルク信号、ダンピング補償信号及び慣性補償信号を加算して目標トルクを求め、これをメモリに記憶する。その後、ステップS211で、モータ電流決定器7により、上記ステップS211で求められた目標トルクにゲインを乗じて目標電流を求めてメモリに記憶する。なお、この時のゲインは、モータ10のステアリング軸換算でのトルク定数の逆数としておく。

【0036】なお、本実施の形態2においても、上記実施の形態1と同様に、操舵トルク制御器2、戻しトルク補償器17、ダンピング補償器3、慣性補償器4の各制御パラメータは、車速検出器14の出力に応じて変更する。この時、ステアリング機構自身のダンピングが強い車両や、ステアリング軸換算の慣性モーメントが小さなモータを装着した車両については、ダンピング補償器3、慣性補償器4の各ゲインを0としてもよく、この場合は、モータ速度検出器5、モータ加速度検出器6、ダンピング制御器3、慣性補償器4は不要となる。また、操舵トルク制御器2を操舵トルク信号並びにその微分値に対して操舵補助トルク信号を求める構成としてもよい。

【0037】このように、本実施の形態2では、ドライバがハンドルを保持して操舵している場合には、操舵をアシストする操舵補助トルク信号を操舵トルク信号に基づいて発生させるとともに、ドライバがハンドルを放した場合には、ハンドルを原点に復帰させるハンドル戻し補助トルク信号を路面反力トルク信号に基づいて発生させることができるので、手放しを行った後にも、モータがハンドル戻し方向にトルクを出力することで、確実にハンドルを中心に戻すことができる。即ち、ドライバがハンドルを保持している場合には従来の制御アルゴリズムをそのまま流用し、新たに手放し時にハンドルを原点に復帰させる制御アルゴリズムを付け加えるだけで、ハンドル戻り性を向上させることができる。

【0038】なお、本実施の形態2では、図5のステップS206とS207においてはマップ演算をし、ステップS208とS209ではゲインを乗じる演算をする構成としたが、各ステップともゲインを乗じる構成としてもよいし、あるいは、マップ演算とする構成としてもよい。また、本実施の形態2においては、操舵トルク信号の周波数特性を改善するための位相補償器をマイコンのS/W上で構成したが、操舵トルク信号を予めアナロ

グの位相補償器で周波数特性を改善した後、A/D変換してマイコンに取り込む構成としてもよい。なお、その場合には、ステップS205が不要となる。

【0039】実施の形態3. 上記実施の形態2では、例えばロードセルのような歪測定手段を備えた路面反力トルク検出器15を用いて、路面反力トルクを直接検出する構成としたが、本実施の形態3は、図6に示すように、上記路面反力トルク検出器15に代えて、ローパスフィルタを備え、操舵トルク検出器1の出力である操舵トルク信号とモータ加速度検出器6の出力であるモータ加速度信号とモータ電流検出器11の出力であるモータ電流値とから路面反力トルク信号を演算して出力する、マイコンのS/W上で構成した路面反力トルク検出器15Sを用いて電動式パワーステアリング制御装置を構成したものである。これにより、路面反力トルク検出器15を省略することができるとともに、それに付随する配線をなくすることができるので、電動式パワーステアリング制御装置を小型化することができる。なお、路面反力トルク検出器15Sによる路面反力トルク信号の演算の

$$T'_{rea_est} = T_{sens} + K_t \cdot I_{mtr} - J \cdot d\omega \quad (1)$$

K_t : モータのトルク定数 (ステアリング軸換算)

J : ステアリング機構の慣性モーメント

次に、ステップS306において、路面反力トルク検出器15Sに設けられたローパスフィルタにより、下記の

$$d T_{rea_est} / d t = -T_{rea_est} / T_1 + T'_{rea_est} / T_1 \quad (2)$$

ここで、 T_1 は、上記1次フィルタの時定数で、折点周波数 $f_c = 1 / (2\pi \cdot T_1)$ が0.05~1.0Hzの間になるように定める。

【0041】次に、ステップS307~S308では、操舵トルク制御器2において、操舵トルク信号を位相補償器に通して位相補償し、この位相補償された操舵トルク信号に対してマップ演算し、操舵補助トルク信号を求めてメモリに記憶する。ステップS309では、戻しトルク補償器17にて、上記路面反力トルク信号 T_{rea_est} に対してマップ演算によりハンドル戻し補助トルク信号を求め、これをメモリに記憶し、ステップS310では、ダンピング補償器3により、モータ速度信号に比例ゲインを乗じてダンピング補償信号を求めメモリに記憶し、ステップS311では、慣性補償器4により、モータ加速度信号に比例ゲインを乗じて慣性補償信

$$J \cdot d\omega_s / d t = T_{hdl} + T_{mtr} - T_{fric} - T_{react} \quad (3)$$

$d\omega_s / d t$: ステアリング軸回転加速度

T_{hdl} : 操舵トルク

T_{mtr} : モータ出力トルク (ステアリング軸換算)

T_{fric} : ステアリング機構内の摩擦トルク

$$T_{react} = T_{hdl} + T_{mtr} - J \cdot d\omega_s / d t - T_{fric} \quad (4)$$

したがって、操舵トルク、モータ出力トルク、ステアリング軸回転加速度、ステアリング機構内の摩擦トルクの各値を用いることにより、路面反力トルク T_{react} を求めることができる。操舵トルク T_{hdl} としては、操舵ト

詳細については後述する。

【0040】本実施の形態3の電動式パワーステアリング制御装置の動作について、図7のフローチャートに基づき説明する。まず、ステップS301で、操舵トルク検出器1で検出された操舵トルク信号を読み込みメモリに記憶する。次に、ステップS302で、モータ速度検出器5にて検出されたモータ速度信号を読み込みメモリに記憶する。ステップS303では、モータ加速度検出器6において、モータ速度信号を微分演算してモータ加速度信号を得るとともにメモリに記憶し、ステップS304では、モータ電流信号を読み込みメモリに記憶する。次に、ステップS305~S306では、路面反力トルク検出器15Sにおいて下記の演算を行い、路面反力トルク信号を求める。まず、ステップS305で、操舵トルク信号 T_{sens} とステアリング軸回転加速度に相当するモータ加速度信号 $d\omega$ とモータ電流信号 I_{mtr} とを用いて、下記の式(1)により、定常反力信号 T'_{rea_est} を得る。

式(2)に示すような1次フィルタ演算を行って路面反力トルク信号 T_{rea_est} を得るとともに、この路面反力トルク信号 T_{rea_est} をメモリに記憶する。

号を求めメモリに記憶する。次に、ステップS312に進み、第1の加算器12により、上記各ステップS308~S311で求められた操舵補助トルク信号、ハンドル戻し補助トルク信号、ダンピング補償信号及び慣性補償信号を加算して目標トルクを求め、これをメモリに記憶する。その後、ステップS313で、モータ電流決定器7により、上記ステップS312で求められた目標トルクにゲインを乗じて目標電流を求めてメモリに記憶する。なお、この時のゲインは、モータ10のステアリング軸換算でのトルク定数の逆数としておく。以上のステップS301~S313までを繰り返す。

【0042】次に、上記式(1)及び式(2)により路面反力トルクの検出が可能となる理由について説明する。ステアリング機構の運動方程式は、下記の式(3)で表される。

T_{react} : 路面反力トルク (ステアリング軸換算)

上記式(3)を路面反力トルク T_{react} について解く

と、以下の式(4)のようになる。

ルク信号 T_{sens} を使用することができ、モータ出力トルク T_{mtr} としては、モータ電流信号 I_{mtr} にトルク定数 K_t を乗じた値を使用することができる。また、ステアリング軸回転加速度($d\omega_s / d t$)としては、モータ加

速度信号 $d\omega$ を使用することができる。したがって、ステアリング機構内の摩擦トルク T_{fric} の影響を除いた路面反力トルクは、上記式 (1) で検出可能である。一方、摩擦トルク T_{fric} は、ステアリング機構の回転速度に対してリレーとして作用する。また、リレーは制御工学上、等価線形化法により、等価的にゲインと位相で表すことができることは広く知られている。したがって、上記式 (1) で検出された定常反力信号 T'_{rea_est} のゲインと位相とを、上記式 (2) の 1 次フィルタにより調整することにより、路面反力トルク信号 T_{rea_est} を得ることができる。即ち、ゲインと位相とを調整する最も一般的な方法としてフィルタが用いられる。フィルタでゲインと位相を調整可能なのは、折点周波数以上の周波数領域であり、調整したい周波数の 0.5 ~ 1 倍の範囲に折点周波数を設定すれば、ゲインはおおよそ 1 ~ 0.5 倍、位相はおおよそ 0 ~ -20 deg の範囲で調整可能であり、摩擦トルクの影響は大抵の場合キャンセルすることができる。自動車において一般的に行われる操舵周波数は、0.1 ~ 1 Hz 程度の範囲であり、折点周波数を上記操舵周波数の 0.5 ~ 1 倍、即ち概ね 0.05 Hz から 1 Hz の範囲に設定しておけば摩擦トルクの影響のキャンセルが可能となる。なお、具体的な折点周波数は、検出された路面反力トルク信号に基づく制御を最も効果せたい操舵周波数を狙って設定される。

【0043】このように、本実施の形態 3 では、路面反力トルク信号 T_{rea_est} を、操舵トルク信号 T_{sens} とモータ加速度信号 $d\omega$ (ステアリング軸回転加速度) とモータ電流信号 I_{mtr} とから検出する構成の路面反力トルク検出器 15 S を設けることにより、路面反力トルク検

$$T'_{rea_est} = T_{sens} + K_t \cdot I_{mtr} - J \cdot d\omega \quad (1)$$

K_t : モータのトルク定数 (ステアリング軸換算)

J : ステアリング機構の慣性モーメント

この時、モータ慣性トルク項と、ステアリング軸換算のモータトルク項のうち、少なくとも一方を無視可能となるので、これらの演算が不要となる分、マイコンの演算負荷を低減することができる。

【0046】実施の形態 4. 上記実施の形態 3 では、モータ電流検出器 11 の出力 I_{mtr} にステアリング軸換算、のモータトルク定数 K_t を乗じた値からモータ出力トルクを求めたが、本実施の形態 4 の電動式パワーステアリング制御装置は、図 8 に示すように、例えばロードセルのような歪み測定手段を備えた、モータ出力トルクを検出するモータトルク検出器 20 を設けて、モータ 10 の出力軸のトルクを直接検出するように構成したもので、モータ 10 の出力軸のトルクを直接検出することにより、モータ出力トルクの検出精度を向上させることができるとともに、モータ電流検出器 11 の出力 I_{mtr} を用いないため、モータ電流信号のノイズの影響を受けることがないので、路面反力トルクを精度良く検出することができる。

出器 15 及びそれに付随する配線が不要となり、電動式パワーステアリング制御装置のコストを低減することが可能となる。

【0044】なお、上記実施の形態 3 においては、路面反力トルク検出器 15 S に入力する操舵トルク信号 T_{sens} として、位相補償前の信号を用いたが、操舵トルク検出器 1 の周波数特性を改善する位相補償器をアナログで構成した場合には、操舵トルク信号 T_{sens} として、位相補償後の信号を用いてもよい。また、操舵トルク信号の周波数特性を改善するための位相補償器はマイコンの S/W 上で構成してもよいが、予めアナログの位相補償器で周波数特性を改善した後、A/D してマイコンに取り込む構成としてもよい。その場合には、上記ステップ S307 が不要となる。

【0045】また、上記例では、ステップ S305 で、操舵トルク信号 T_{sens} とモータ加速度信号 $d\omega$ (ステアリング軸回転加速度) とモータ電流信号 I_{mtr} とから、下に再掲する式 (1) を用いて、定常反力信号 T'_{rea_est} を得る構成としたが、小型モータやブラシレスモータを装着した電動式パワーステアリング制御装置などのように、モータ慣性トルクが路面反力トルク検出値に対して小さいような電動式パワーステアリング制御装置に対しては、モータ慣性トルク項 ($-J \cdot d\omega$) を無視してもよい。また、路面反力トルク付加制御を動作させる必要がある操舵範囲でのステアリング軸換算のモータトルクが路面反力トルク検出値に対して小さいような電動式パワーステアリング制御装置に対しては、ステアリング軸換算のモータトルク項を無視してもよい。

【0047】次に、本実施の形態 4 の電動式パワーステアリング制御装置の動作について、図 9 のフローチャートに基づき説明する。なお、操舵トルク信号の読み込み (ステップ S301a) からモータ加速度信号 $d\omega$ の演算 (ステップ S303a) までは、上記図 7 に示したフローチャートのステップ S301 ~ S303 と同じであるので、説明を省略する。ステップ S304a では、ステアリング軸換算のモータトルク検出器 20 の出力を A/D 変換し読み込み、メモリにモータトルク信号 T_m として記憶する。次に、ステップ S305a で、操舵トルク信号 T_{sens} とステアリング軸回転角速度に相当するモータ加速度信号 $d\omega$ と上記モータトルク信号 T_m を用いて、下記 (5) 式により、定常反力信号 T'_{rea_est} を得る。

$$T'_{rea_est} = T_{sens} + T_m - J \cdot d\omega \quad (5)$$

ステップ S306a では、上記式 (5) で求めた定常反力信号 T'_{rea_est} を用いて、上記実施の形態 3 で示した式 (2) の 1 次フィルタ演算を行って路面反力トルク信号 T_{rea_est} を得、この路面反力トルク信号 T_{rea_est} をメモリに記憶する。以下の、ステップ S307a ~ S3

13aは、上記実施の形態3の図7のステップS307からステップS313までと同一であるので、説明を省略する。このように、本実施の形態4では、モータトルク検出器20の出力から直接モータ出力トルク T_m を検出するので、モータトルク検出精度が高く、モータ電流信号ノイズの影響を受けない電動式パワーステアリング制御装置を実現することが可能となる。

【0048】実施の形態5 上記実施の形態3では、モータ電流検出器11の出力 I_{mtr} にステアリング軸換算のモータトルク定数 K_t を乗じた値からモータ出力トルクを求めるようにしたが、本実施の形態5の電動式パワーステアリング制御装置は、図10に示すように、上記モータ電流検出器11の出力 I_{mtr} に代えて、モータ電流決定器7の出力であるモータ電流制御目標値 I_t を用いて、モータ出力トルクを検出する構成としたもので、上記モータ電流制御目標値 I_t は、上記図7に示したフローチャートのステップS313において演算されメモリに記憶されている値である。即ち、上記実施の形態3では、ステップS301～S313までの処理ルーチンを繰り返し、ステップS304で検出したモータ電流検出器11の出力 I_{mtr} を用いてモータ電流制御目標値 I_t を求め、モータ10を制御するようにしたが、本実施の形態5では、後述するように、一度モータ電流制御目標値 I_t を求めた後は、上記ステップS304で検出した

$$T'_{rea_est} = T_{sens} + K_t \cdot I_t - J \cdot d\omega \quad (6)$$

ステップS306bでは、上記式(7)で求めた定常反力信号 T'_{rea_est} を用いて、上記実施の形態3で示した式(2)の1次フィルタ演算を行って路面反力トルク信号 T_{rea_est} を得、メモリに記憶する。以下の、ステップS307b～S313bは、上記実施の形態3の図7のステップS307からステップS313までと同一であるので、説明を省略する。このように、本実施の形態5では、モータ電流信号 I_{mtr} の代わりに、モータ電流決定器7の出力であるモータ電流制御目標信号 I_t を用いて、モータの出力軸トルクを検出するようにしたので、モータトルク検出精度が高く、モータ電流信号ノイズの影響を受けない電動式パワーステアリング制御装置を実現することが可能となる。

【0050】実施の形態6 上記実施の形態3では、操舵トルク検出器1から出力される操舵トルク信号 T_{sens}

$$T'_{rea_est} = K_{it} \cdot I_{mtr} + K_t \cdot I_t - J \cdot d\omega \quad (7)$$

K_{it} ；モータ電流信号から操舵トルク信号相当値への変換定数

即ち、操舵トルク検出器1の出力はモータ電流検出器11の出力に略比例するので、操舵トルク信号 T_{sens} に代

えて、比例項 $K_{it} \cdot I_{mtr}$ を用いて定常反力信号 T'_{rea_est} を演算する。ステップS306cでは、上記式

(7)で求めた定常反力信号 T'_{rea_est} を用いて、上記実施の形態3で示した式(2)の1次フィルタ演算を行って路面反力トルク信号 T_{rea_est} を得、この路面反力

I_{mtr} ではなく、モータ制御電流であるモータ電流制御目標値 I_t を用いて、モータ出力トルクを検出するようにしたので、モータ出力トルクの検出精度を向上させることができる。更に、モータ電流信号のノイズの影響を受けないので、路面反力トルクを精度良く検出することができる。

【0049】次に、本実施の形態5の電動式パワーステアリング制御装置の動作について説明する。まず、図7のフローチャートにより、モータ電流制御目標値 I_t を求めてメモリに記憶した後、図11のフローチャートに示す処理ルーチンに移行し、ステップS301bで、操舵トルク検出器1で検出された操舵トルク信号を読み込みメモリに記憶する。次に、ステップS302bで、モータ速度検出器5にて検出されたモータ速度信号を読み込みメモリに記憶する。ステップS303bでは、モータ加速度検出器6において、モータ速度信号を微分演算してモータ加速度信号を得るとともにメモリに記憶する。図11の処理ルーチンでは、図7のステップS304で行ったモータ電流信号 I_{mtr} の読み込みを行わず、ステップS305bに進み、操舵トルク信号 T_{sens} とステアリング軸回転角速度に相当するモータ加速度信号 $d\omega$ と本処理ルーチンの前サイクルで演算されメモリに記憶されているモータ電流制御目標信号 I_t とを用いて、下記(6)式により、定常反力信号 T'_{rea_est} を得る。

を用いて路面反力トルク T_{rea_est} を検出したが、本実施の形態6は、操舵トルク検出器1の出力がモータ電流検出器11の出力に略比例することを用い、図12に示すように、モータ電流検出器11の出力とモータ加速度検出器6から出力されるモータ加速度信号 $d\omega$ とから路面反力トルク T_{rea_est} を検出するように構成したもので、これにより、メモリを節約でき、演算処理プログラムの構成とその演算処理を簡素化することができる。

【0051】次に、本実施の形態6の電動式パワーステアリング制御装置の動作について、図13のフローチャートに基づき説明する。まず、ステップS304cでは、モータ電流信号 I_{mtr} を読み込みメモリに記憶する。次に、ステップS305cで、上記モータ電流信号 I_{mtr} を用いて、下記(7)式により、定常反力信号 T'_{rea_est} を得る。

トルク信号 T_{rea_est} をメモリに記憶する。以下の、ステップS307c～S313cは、上記実施の形態3の図7のステップS307からステップS313までと同一であるので、説明を省略する。

【0052】このように、本実施の形態6では、操舵トルク検出器1の出力がモータ電流検出器11の出力に略比例することを用い、操舵トルク検出器1の出力を用いることなく路面反力トルクを検出できるようにしたので、メモリを節約でき、演算処理プログラムの構成とそ

の演算処理を簡素化できる。なお、小型モータやブラシレスモータを装着した電動式パワーステアリング制御装置などのように、モータ慣性トルクが路面反力トルク検出値に対して小さいような電動式パワーステアリング制御装置に対しては、モータ慣性トルク項 ($-J \cdot d\omega$) を無視してもよいので、モータ電流検出器 11 の出力のみから路面反力トルク T_{rea_est} を検出することができる。

【0053】実施の形態 7. 上記実施の形態 3 では、例えばモータ回転角センサやモータ回転角速度センサ等のセンサ出力からモータ 10 の回転速度を検出するモータ速度検出器 5 を用いてモータ速度を検出したが、本実施の形態 7 では、図 14 に示すように、モータ電流検出器 11 からのモータ電流信号 I_{mtr} と、モータ駆動器 9 の図示しない電源電圧検出器からの電源電圧値とモータ駆動器 9 の出力である PWM 信号のデューティ比信号とから演算されるモータ印加電圧の目標値とからモータ回転角速度 ω を検出する、マイコンの S/W 上で構成したモータ速度検出器 5 S を用いて電動式パワーステアリング制御装置を構成したもので、上記モータ回転角速度 ω を微分演算した出力信号 $d\omega$ と操舵トルク信号 T_{sens} とモ

$$\omega = X_{duty} \cdot V_b - R_m \cdot I_{mtr} / K_b \dots (8)$$

K_b ; 逆起電力定数

次に、ステップ S 304 d で、上記回転角速度 ω を微分演算してモータ加速度信号 $d\omega$ を得る。以下のステップ S 305 d ~ ステップ S 313 d は、実施の形態 3 の図 7 のステップ S 306 からステップ S 313 までと同一であるので、説明を省略する。

【0055】実施の形態 8. 上記実施の形態 3 では、路面反力トルク信号 T_{rea_est} を、操舵トルク信号 T_{sens} とモータ加速度信号 $d\omega$ とモータ電流信号 I_{mtr} とから検出する構成とするとともに、操舵トルク制御器 2 により、操舵トルク検出器 1 から直接に補助トルク信号を演算する構成としたが、図 16 に示すように、上記操舵トルク制御器 2 に代えて、ローパスフィルタを備えた路面反力トルク検出器 15 S からの路面反力トルク信号 T_{rea_est} に基づいて、モータ 10 に、上記路面反力トルクと逆方向にトルクを発生させるための切り込みトルク信号を演算し出力する切り込みトルク制御器 16 S を設けて補助トルク信号とすることにより、例えば、出力値にエンジン振動等に伴うノイズ成分が大きい安価な操舵トルク検出器 1 を用いた場合でも、精度良く操舵トルクを検出することができる。

【0056】次に、本実施の形態 8 の電動式パワーステアリング制御装置の動作について、図 17 のフローチャートに基づき説明する。なお、操舵トルク信号の読み込み (ステップ S 401) から路面反力トルク信号 T_{rea_est} を演算する (ステップ S 406) までは、上記図 7 に示したフローチャートのステップ S 301 ~ S 306 と同じであるので、説明を省略する。ステップ S 4

ータ電流信号 I_{mtr} とから路面反力トルク T_{rea_est} を得るようにしたものである。これにより、モータの回転角加速度 $d\omega$ を検出する際に、モータ回転角センサやモータ回転角速度センサ等のセンサが不要になり、電動式パワーステアリング制御装置のコストを低減することができる。

【0054】次に、本実施の形態 7 の電動式パワーステアリング制御装置の動作について、図 15 のフローチャートに基づき説明する。まず、ステップ S 301 d で、操舵トルク検出器 1 で検出された操舵トルク信号を読み込みメモリに記憶する。次に、ステップ S 302 d で、モータ電流信号を読み込みメモリに記憶する。ステップ S 303 d では、電源電圧検出器からの出力信号 V_b を A/D 変換し、モータ駆動器 9 の出力信号であるデューティ比指令値 X_{duty} をメモリから読み込み、このデューティ比指令値 X_{duty} と上記電源電圧検出器からの出力信号 V_b とを乗算した値から、モータ電機子抵抗 R_m にモータ電流信号 I_{mtr} とを乗算した値を減算して回転角速度 ω を求める。以下に、回転角速度 ω の演算式を示す。

07 では、切り込みトルク制御器 16 S において、ステップ S 406 で演算された路面反力トルク信号 T_{rea_est} に対してマップ演算し、切り込み補助トルク信号を求めてメモリに記憶する。この時、切り込み補助トルク信号は、路面反力と逆方向にモータ 10 がトルクを発生するように上記マップを定めておく。次に、ステップ S 408 で、戻しトルク補償器 17 により、路面反力トルク信号 T_{rea_est} に対してマップ演算し、ハンドル戻し補助トルク信号を求めてメモリに記憶する。ステップ S 409 では、ダンピング補償器 3 により、モータ速度信号に比例ゲインを乗じてダンピング補償信号を求めメモリに記憶し、ステップ S 410 では、慣性補償器 4 により、モータ加速度信号に比例ゲインを乗じて慣性補償信号を求めメモリに記憶する。次に、ステップ S 411 に進み、第 1 の加算器 12 により、上記各ステップ S 407 ~ S 410 で求められた切り込み補助トルク信号、ハンドル戻し補助トルク信号、ダンピング補償信号及び慣性補償信号を加算して目標トルクを求め、これをメモリに記憶する。その後、ステップ S 412 で、モータ電流決定器 7 において、上記ステップ S 411 で求められた目標トルクにゲインを乗じて目標電流を求めてメモリに記憶する。

【0057】実施の形態 9. 本実施の形態 9 は、上記実施の形態 3 ~ 8 で用いられた路面反力トルク検出器 15 S に関する発明であり、それ以外の部分については、上記実施の形態 3 ~ 8 のいずれのブロック図の構成をとってもよい。以下、本実施の形態 9 の電動式パワーステアリング制御装置の動作について、図 6 (上記実施の形

態3のブロック図)及び図18のフローチャートとに基づき説明する。まず、ステップS501で、操舵トルク検出器1で検出された操舵トルク信号を読み込みメモリに記憶する。次に、ステップS502で、モータ速度検出器5にて検出されたモータ速度信号を読み込みメモリに記憶する。ステップS503では、モータ加速度検出器6にて、モータ速度信号を微分演算してモータ加速度信号を得るとともに、それをメモリに記憶する。ステップS504では、モータ電流信号を読み込みメモリに記憶する。

【0058】ステップS505～S508は、路面反力トルク検出器15Sでの動作を示すもので、まず、ステップS505で、操舵トルク信号の絶対値が所定の閾値以上かどうか判断する。この時、上記閾値は、直進時のハンドル保持に必要なトルクと操舵トルク検出器1の測定オフセットとの和付近の値になるように予め設定し、その値をROMに記憶させておく。ステップS505で操舵トルク信号の絶対値が閾値以上であると判断された場合には、そのままステップS507に進み、閾値未満であると判断された場合には、ステップS506に進んで、路面反力トルク検出器15S内での演算に用いる操舵トルク信号 T_{sens} を0に置き換えた上でステップS507に進む。以下、上記実施の形態3のステップS305～S313と同様に、ステップS507～S511において、操舵トルク信号 T_{sens} とモータ加速度信号 $d\omega$ とモータ電流信号 I_{mr} とから路面反力トルク信号 T_{rea_est} を演算し、この路面反力トルク信号 T_{rea_est} を位相補償した信号から操舵補助トルク信号とハンドル戻し補助トルク信号とを求める。その後、ステップS512～S515において、ダンピング補償信号、慣性補償信号を求め、上記操舵補助トルク信号、ハンドル戻し補助トルク信号、ダンピング補償信号、慣性補償信号の和を求め目標トルクとし、この目標トルクにゲインを乗じて目標電流を求める。以上、ステップS501～S515までの動作を繰り返す。なお、操舵トルク信号 T_{sens} を0に置き換えた場合には、ステップS508で求められた路面反力トルク信号 T_{rea_est} の値は、 $T_{rea_est} = 0$ となるので、操舵トルク信号の絶対値が閾値未満である場合には、路面反力トルクが作用しないとして制御を行うことになる。

【0059】道路には、一般に雨水を路肩側に流すために、道路の中心付近が高く路肩付近が低くなるカントが設けられている。このため、道路を直進しようとする場合、ハンドルを僅かなトルクで保持する必要がある。また、操舵トルクを検出する操舵トルク検出器1は、電圧のドリフト等で僅かにオフセットする場合が多い。したがって、操舵トルク検出信号をそのまま使うと、路面反力トルク検出器15Sは、直進時も路面反力トルク検出値が0とならないので、この路面反力トルク検出値に基づいてハンドル戻し補助トルク信号を演算すると、直進

時も不必要なトルクをドライバが感じてしまう場合がある。これに対して、本実施の形態9では、操舵トルク信号の絶対値が所定の閾値未満であると判断された場合には、路面反力トルク検出器15S内での演算に用いる操舵トルク信号 T_{sens} を0に置き換えた上で、上記実施の形態3に示した式(1)の定常反力信号 T'_{rea_est} を演算することにより、路面反力トルク検出器15Sの検出値を実質的に0とするとともに、この時の閾値を、直進時のハンドル保持に必要なトルクと操舵トルク検出器の測定オフセットとの和付近の値に設定するようにしたので、上述のような問題を解決することができる。

【0060】なお、上記実施の形態9においては、ステップS505において、操舵トルク信号の絶対値が閾値未満であると判断された場合には、路面反力トルク検出器15S内での演算に用いる操舵トルク信号 T_{sens} を0に置き換えるようにしたので、路面反力トルク検出器15Sへの入力となる操舵トルク信号と、路面反力トルク検出器15S内での演算に用いる操舵トルク信号の関係は、図19に示すように、不連続が発生するが、図20に示すように、不連続点が無いように設定してもよい。即ち、ステップS505で操舵トルク信号の絶対値が閾値以上であると判断された場合には、操舵トルク信号 T_{sens} から上記閾値の値を減算した上でステップS507に進むようにすることにより、上記不連続点を解消するようにしてもよい。

【0061】実施の形態10。上記実施の形態9では、操舵トルク信号の絶対値が所定の閾値以上であるか否かの判定後に、定常反力信号 T'_{rea_est} の演算と路面反力トルク信号 T_{rea_est} の演算とを行うようにしたが、図21のフローチャートに示すように、定常反力信号 T'_{rea_est} の演算(ステップS605)と路面反力トルク信号 T_{rea_est} (ステップS606)の演算後に、操舵トルク信号の絶対値が所定の閾値以上であるか否かの判定(ステップS607)を行うようにしても、上記実施の形態9と同様な効果を得ることができる。但し、本実施の形態10では、上記ステップS607で、操舵トルク信号の絶対値が閾値未満であると判断された場合には、ステップS608において、路面反力トルク信号 T_{rea_est} を0とした後、ハンドル戻し補助トルク信号を求める(ステップS611)ものとする。

【0062】実施の形態11。上記実施の形態9、10では、マイコンのS/W上で構成した路面反力トルク検出器15Sにおいて、入力された操舵トルク信号の絶対値が所定の閾値未満であると判断された場合には、路面反力トルク検出器15S内での演算に用いる操舵トルク信号 T_{sens} あるいは路面反力トルク信号 T_{rea_est} を0として、ハンドル戻し補助トルク信号を求めるようにしたが、上記実施の形態1、2に用いられる路面反力トルク検出器15においても、路面反力トルク信号に閾値を設定し、路面反力トルク信号が上記閾値以下の場合に

は、路面反力トルク信号 T_{rea_est} を0とした後、切り込み補助トルク信号やハンドル戻し補助トルク信号を演算するとともに、この時の閾値を、直進時の路面反力トルク検出器出力のオフセット付近の値に設定することにより、上記実施の形態9、10と同様に、直進時に不要なトルクの発生をなくすることができるので、操舵性を向上させることができる。

【0063】次に、上記構成の電動式パワーステアリング制御装置の動作について、図22のフローチャートに基づき説明する。まず、ステップS701では、路面反力トルク検出器15で検出された路面反力トルク信号を読み込みメモリに記憶する。次に、ステップS702で、モータ速度検出器5で検出されたモータ速度信号を読み込みメモリに記憶する。ステップS703では、モータ加速度検出器6において、上記モータ速度信号を微分演算してモータ加速度信号を得、これをメモリに記憶する。次に、ステップS704で、路面反力トルク信号の絶対値が、上述した所定の閾値以上かどうか判断する。路面反力トルク信号の絶対値が閾値以上であると判断された場合には、そのままステップS706に進み、閾値未満であると判断された場合には、ステップS705に進んで、路面反力トルク信号 T_{rea_est} を0とした上でステップS706に進む。ステップS706では、切り込みトルク制御器16により、上記路面反力トルク信号に対してマップ演算し、切り込み補助トルク信号を求め、ステップS707で、戻しトルク補償器17により、上記路面反力トルク信号に対してマップ演算し、ハンドル戻し補助トルク信号を求める。次に、ステップS708で、ダンピング補償器3により、モータ速度信号に比例ゲインを乗じてダンピング補償信号を求めメモリに記憶し、ステップS709で、慣性補償器4により、モータ加速度信号に比例ゲインを乗じて慣性補償信号を求めメモリに記憶する。次に、ステップS710に進み、第1の加算器12により、上記各ステップS706～S709で求められた、切り込み補助トルク信号、ハンドル戻し補助トルク信号、ダンピング補償信号及び

$$T'_{rea_est} = T_{sens} + K_t \cdot I_{mtr} - J \cdot d\omega \cdots \cdots (1)$$

K_t ：モータのトルク定数（ステアリング軸換算）

J ：ステアリング機構の慣性モーメント

ステップS809では、例えば、図24に示すような、上記車速信号に対して定められたマップから、式(2)の1次フィルタの時定数 T_1 を読み込み、ステップS8

$$dT_{rea_est}/dt = -T_{rea_est}/T_1 + T'_{rea_est}/T_1 \cdots \cdots (2)$$

【0066】その後、上記実施の形態3のステップS307～S313と同様に、ステップS811で、操舵トルク信号を位相補償した後、ステップS812で、この位相補償された操舵トルク信号に対してマップ演算で、操舵補助トルク信号を求め、更に、ステップS813～S817において、上記路面反力トルク信号 T_{rea_est} に対してマップ演算し、ハンドル戻し補助トルク信号を

慣性補償信号を加算して目標トルクを求め、これをメモリに記憶する。その後、ステップS711で、モータ電流決定器7により、上記ステップS711で求められた目標トルクにゲインを乗じて目標電流を求めてメモリに記憶する。

【0064】実施の形態12. 本実施の形態12は、上記実施の形態3～8の路面反力トルク検出器15Sに設けられたローパスフィルタの時定数を、車速に応じて変更するようにしたもので、これにより、車速に関わらずハンドルの原点への復帰性を向上させることができる。以下、本実施の形態12について、図6（実施の形態3のブロック図）と図23のフローチャートとに基づき説明する。まず、ステップS801で、操舵トルク検出器1で検出された操舵トルク信号を読み込みメモリに記憶する。次に、ステップS802で、モータ速度検出器5にて検出されたモータ速度信号を読み込みメモリに記憶する。ステップS803では、モータ加速度検出器6にて、モータ速度信号を微分演算してモータ加速度信号を得るとともに、それをメモリに記憶する。ステップS804では、モータ電流信号を読み込みメモリに記憶する。次に、ステップS805で車速信号を読み込みメモリに記憶する。ステップS806では、操舵トルク信号の絶対値が閾値以上であるか否か判断する。この時の上記閾値は、直進時のハンドル保持に必要なトルクと操舵トルク検出器1の測定オフセットの和付近になるように予め設定し、その値をROMに記憶させておく。ステップS806で操舵トルク信号の絶対値が閾値以上であると判断された場合には、そのままステップS808に進み、閾値未満であると判断された場合には、ステップS807に進んで、路面反力トルク検出器15S内での演算に用いる操舵トルク信号 T_{sens} を0に置き換えた上でステップS808に進む。

【0065】ステップS808では、上記実施の形態3と同様に、(1)式により、定常反力信号 T'_{rea_est} を演算する。

10で、上記ステップS809で読み込まれた時定数を用いて、上記式(2)の1次フィルタ演算を行い、路面反力トルク信号 T_{rea_est} を得るとともにメモリに記憶する。

求めるとともに、ダンピング補償信号、慣性補償信号を求め、上記操舵補助トルク信号、ハンドル戻し補助トルク信号、ダンピング補償信号、慣性補償信号の和を求め目標トルクとし、この目標トルクにゲインを乗じて目標電流を求める。以上、ステップS801～S817までの動作を繰り返す。

【0067】自動車のドライバが操舵を行う周波数帯域

は車速により異なり、一般に低速では早い操舵を行い、高速では車両挙動が不安定になるのを防ぐために遅い操舵を行う場合が多い。また、このフィルタは、ステアリング機構の摩擦トルクを等価的なゲインと位相で表すために導入したものであり、本来操舵周波数により最適なフィルタの時定数は異なり、遅い低周波の操舵に対しては時定数を大きく設定し、早い高周波の操舵に対しては時定数を小さく設定することにより実際の路面反力トルクに対する路面反力トルク信号の精度を向上させることができる。また、路面反力トルク信号の精度が高いほうが、レーンチェンジ等の操舵を行った場合は、ハンドル戻し補助トルク信号が実際の路面反力に応じたものとなるので、よりよい操舵フィーリングをドライバに与えることができる。一方、ドライバがハンドルから手放しを行った際の路面反力トルク信号 T_{rea_est} は、この時定数が長いほどゆっくりと減少していくので、ハンドル戻し補助トルク信号も長時間出力される。したがって、交差点等でハンドルを大きく切った後に手放しを行った場合等、ハンドルが原点に復帰するのに長い時間を要する場合には、この時定数が大きいほうがよりハンドル戻り性をよくできる。また、一般に交差点等でハンドルを大きく切る車速は、一般に低速に限られており、それ以上の車速領域では、レーンチェンジ等の比較的小さなハンドル操作が行われる。したがって、上記式(2)の1次フィルタの時定数 T_1 を、図24に示すように、一般のドライバが交差点等で大きくハンドルを切る場合の上限速度までは、車速の増加とともに時定数が小さくなるように、また、それ以上の車速では、車速の増加とともに時定数が大きくなるように設定しておけば、低速での大きくハンドルを切った後に手放しを行った場合のハンドルの原点への復帰性と、中高速での良好な操舵フィーリング及び小さくハンドルを切った後に手放しを行った場合のハンドルの原点への復帰性をすべて満たすことができる。

【0068】また、上記時定数 T_1 を、図25に示すように、一般のドライバが交差点等で大きくハンドルを切る場合の上限速度までは、時定数を一定となるように定めてもよい。あるいは、ステアリング機構の摩擦が小さい車両等で、ハンドルの原点の復帰性は比較的良好な車両であって、操舵フィーリングのみを改善したい場合には、上記時定数 T_1 を例えば、図26に示すように、車速に対する一般的な操舵周波数にあわせて、車速の増加とともに大きくなるように設定してもよい。

【0069】このように、本実施の形態12においては、路面反力トルク検出器15S内の、ステアリング機構の摩擦と等価的に与えたフィルタの時定数を、車速に応じて変更するようにしたので、低速での大きくハンドルを切った後に手放しを行った場合のハンドルの原点への復帰性と、中高速での良好な操舵フィーリング及び小さくハンドルを切った後に手放しを行った場合のハンド

ルの原点への復帰性をすべて満たすことができる。

【0070】実施の形態13. 本実施の形態13は、戻しトルク補償器17内で、路面反力トルク信号に対してハンドル戻し補助トルク信号を演算する際の動作に関する発明であり、それ以外の部分については、上記各実施の形態1～11のいずれのブロック図の構成をとってもよい。ここでは、図27に示すフローチャートに基づき、本実施の形態13について説明する。まず、ステップS901で、操舵トルク検出器1で検出された操舵トルク信号を読み込みメモリに記憶する。次に、ステップS902で、モータ速度検出器5にて検出されたモータ速度信号を読み込みメモリに記憶する。ステップS903では、モータ加速度検出器6にて、モータ速度信号を微分演算してモータ加速度信号を得るとともに、それをメモリに記憶する。ステップS904では、モータ電流信号を読み込みメモリに記憶する。次に、ステップS905で車速信号を読み込みメモリに記憶する。ステップS906では、操舵トルク信号の絶対値が閾値以上であるか否かを判断する。この時の上記閾値は、直進時のハンドル保持に必要なトルクと操舵トルク検出器1の測定オフセットとの和付近の値になるように予め設定し、その値をROMに記憶させておく。ステップS906で操舵トルク信号の絶対値が閾値以上であると判断された場合には、そのままステップS908に進み、閾値未満であると判断された場合には、ステップS907に進んで、路面反力トルク検出器15S内の演算に用いる操舵トルク信号 T_{sens} を0に置き換えた上でステップS908に進み、定常反力信号 T'_{rea_est} を演算した後、ステップS909で、上記 T'_{rea_est} をフィルタを通すことにより、路面反力トルク信号 T_{rea_est} を得る。次に、ステップS910で操舵トルク信号を位相補償した後、ステップS911で、この位相補償された操舵トルク信号に対してマップ演算で、操舵補助トルク信号を求める。

【0071】ステップS912～S913は、本実施の形態9に係わる戻しトルク補償器17での動作を示すもので、まず、ステップS912で、上記ステップS905で読み込まれた車速信号に対して定められたゲイン及びリミットを読み込む。次に、ステップS913で、路面反力トルク信号 T_{rea_est} に対してマップ演算で、ハンドル戻し補助トルク信号を求めメモリに記憶する。この時のマップは、例えば、図28に示すように、ステップS912で読み込まれたゲイン及びリミットに相当するものとしておく。その後、ステップS914～S917で、ダンピング補償信号、慣性補償信号を求め、上記操舵補助トルク信号、ハンドル戻し補助トルク信号、ダンピング補償信号、慣性補償信号の和を求め目標トルクとし、この目標トルクにゲインを乗じて目標電流を求める。以上、ステップS901～S917までの動作を繰り返す。

【0072】一般に、路面反力トルクは車速の関数で、

低速になる程、同一操舵角に対する路面反力トルクは小さくなり、ハンドルの原点への復帰性が低下してしまう。また、駐車時の極低速領域では、ハンドルを切ったまま車両を移動させる場合が多く直進性は要求されないため、ハンドルの原点への復帰性は重要でない。したがって、極低速領域ではハンドル戻し補助トルク信号を小さくし、所定の車速を超えると、低速ほどハンドル戻し補助トルク信号が大きくなるように戻しトルク補償器17でのゲイン及びリミッタを定める必要がある。本実施の形態13では、ステップS912において、戻しトルク補償器17でのゲイン及びリミッタを、図29、30に示すように、一般のドライバが行う駐車速度の上限値付近で上記ゲイン及びリミッタが最大となるように定めている。なお、駐車速度の上限値以下の車速領域では、ゲイン及びリミッタを0としてハンドル戻し補助トルク信号が0となるようにしてもよいし、十分にハンドルの原点への復帰性が高い高速領域でもゲイン及びリミッタを0としてハンドル戻し補助トルク信号が0となるようにしてもよい。

【0073】このように、本実施の形態13では、戻しトルク補償器17において、路面反力トルク信号からハンドル戻し補助トルク信号を演算する際のゲイン及びリミッタを、一般のドライバが行う駐車速度の上限値付近でゲイン及びリミッタが最大となるように定めたので、駐車時の操作性を低下させることなく、車速に関わらずハンドルの原点への復帰性を向上させることができる。

【0074】なお、上記実施の形態13では、ゲイン及びリミッタを両方同時に変更する例を示したが、そのいずれか一方のみを変化させて、他方は一定としても同様の効果が期待できる。また、上記例では、リミッタによりハンドル戻し補助トルク信号の最大値を制限する構成としたが、図31、32に示すように変曲点までは一定ゲインとし、それを超えるとハンドル戻し補助トルク信号を漸増させたり漸減させたりしてもよい。

【0075】実施の形態14、上記実施の形態13では、1段のゲインに対してゲインの設定を示したが、図33に示すように、ゲイン設定を複数段にすることにより、ハンドルの原点への復帰性を更に向上させることができる。例えば、高速走行時等では、ハンドルを切り過ぎた場合に走行安定性が失われてスピンし、重大な事故につながるケースがある。したがって、高速走行時にハンドルの切り過ぎを防止することは重要である。ハンドルを切り過ぎた場合に操舵トルクを重くすることにより、ハンドルの切り過ぎをしにくくなるので、切り過ぎ防止効果が増す。図33は、路面反力トルク信号に対してハンドル戻し補助トルク信号を演算する際のマップを示し、路面反力トルク信号が小さな領域での1段目のゲインは、良好なハンドルの原点への復帰性を狙って、車速に応じた小さなゲインに設定しておく。これに対し、路面反力トルク信号が大きな領域での2段目のゲイン

は、大きなゲインに設定し、ハンドルを切り込めば切り込むほど路面反力トルク信号が急激に大きくなり結果として操舵トルクが重くなる設定としておく。また、1段目のゲインは、上記実施の形態9同様に、図34に示すように、一般のドライバが行う駐車速度の上限値付近でゲインが最大となるように定め、2段目のゲインは、図35に示すように、高速領域以外では0とし、高速になればなるほどゲインが大きくなるように設定する。

【0076】このように、本実施の形態14では、路面反力トルク信号が小さな領域での1段目のゲインは、車速に応じた小さなゲインに設定し、路面反力トルク信号が大きな領域での2段目のゲインは、大きなゲインに設定したので、高速走行時に、通常の操舵を行った場合は良好なハンドルの原点への復帰性を実現し、ハンドルを切り過ぎた場合には、ハンドルを切り込めば切り込むほど路面反力トルク信号が急激に大きくなるため操舵トルクが重くなりハンドルの切り過ぎを防止することができる。なお、本実施の形態14では、ゲインのみ変更したが、リミッタも高速になればなる程大きくなるように設定してもよい。

【0077】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1に記載の発明によれば、タイヤが路面から受ける反力を検出する路面反力トルク検出手段を設けるとともに、上記路面反力トルク検出手段で検出された路面反力トルクに基づいて、運転者による操舵トルクを補助するモータのトルクを制御する路面反力トルク付加制御手段を設けたので、ドライバがハンドルを切った後、ハンドルを原点へ復帰させる際に手放しを行ってもハンドルの角度に略比例した路面反力トルクを検出でき、確実にハンドルを中心に戻すことができる。

【0078】請求項2に記載の発明によれば、請求項1の構成に加え、運転者による操舵トルクを検出する操舵トルク検出手段と、上記操舵トルク検出手段の出力に基づいて、上記モータのトルクを制御する操舵アシスト制御手段を設けたので、ドライバがハンドルを保持して操舵している場合には、操舵をアシストする操舵補助トルク信号を操舵トルク信号に基づいて発生させることができ、ドライバがハンドルを放した場合には、上記路面反力トルク付加制御手段により、ハンドルを確実に原点に復帰させることができる。即ち、ドライバがハンドルを保持している場合には従来の制御アルゴリズムをそのまま流用し、新たに手放し時にハンドルを原点に復帰させる制御アルゴリズムを付け加えるだけで、手放しを行った後にも、モータがハンドル戻し方向にトルクを出力することが可能となり、確実にハンドルを中心に戻すことができる。

【0079】請求項3に記載の発明によれば、上記路面反力トルク付加制御手段の制御量を、路面反力トルク検出手段の出力に対し1段もしくは複数段のゲインを乗じ

て得られる値とするとともに、上記制御量の最大値をリミッタにより制限したので、ハンドルの原点への復帰を確実に行うとともに、不用意に操舵トルクを重くすることをなくすることができる。

【0080】請求項4に記載の発明によれば、車速を検出する車速検出手段を設けるとともに、この車速検出手段の出力に応じて、上記ゲイン及びリミッタの値を設定するようにしたので、車速に関わらずハンドルの原点への復帰性を向上させることができる。

【0081】請求項5に記載の発明によれば、上記ゲイン及びリミッタの値を、駐車時等の極低速を除き、車速が低い場合に路面反力トルク付加制御手段の出力が大きくなるように設定したので、車速に関わらず、駐車時の操作性を低下させることなく、ハンドルの原点への復帰性を向上させることができる。

【0082】請求項6に記載の発明によれば、モータ電流検出手段とモータ回転角加速度検出手段とを設けるとともに、路面反力トルク検出手段を、操舵トルク検出手段の出力と上記モータ電流検出手段の出力から演算されるステアリング軸換算のモータトルクとを加算した値から、上記回転角加速度検出手段の出力から演算されるステアリング軸換算のモータ慣性トルクを減算して得られた値をローパスフィルタを通し、路面反力トルク検出値を得るような構成としたので、路面反力検出器及びそれに付随する配線が不要となり、電動式パワーステアリング制御装置を小型化できるとともに、コストの低減を図ることができる。

【0083】請求項7に記載の発明によれば、モータ電流検出手段を設けるとともに、路面反力トルク検出手段を、操舵トルク検出手段の出力と上記モータ電流検出手段の出力から演算されるステアリング軸換算のモータトルクとを加算して得られた値をローパスフィルタを通し、路面反力トルク検出値を得る構成としたので、小型モータやブラシレスモータを装着した電動式パワーステアリング制御装置などのように、モータ慣性トルクが路面反力トルク検出値に対して小さいような電動式パワーステアリング制御装置に対しては、モータ慣性トルク項の演算が不要となり、マイコンの演算負荷を低減することができる。

【0084】請求項8に記載の発明によれば、モータ回転角加速度検出手段を設けるとともに、路面反力トルク検出手段を、操舵トルク検出手段の出力と上記回転角加速度検出手段の出力から演算されるステアリング軸換算のモータ慣性トルクを減算して得られた値をローパスフィルタを通し、路面反力トルク検出値を得る構成としたので、路面反力トルク付加制御を動作させる必要がある操舵範囲でのステアリング軸換算のモータトルクが路面反力トルク検出値に対して小さいような電動式パワーステアリング制御装置に対しては、ステアリング軸換算のモータトルク項の演算が不要となり、マイコンの演算負

荷を低減することができる。

【0085】請求項9に記載の発明によれば、モータの発生するトルクを検出するモータトルク検出手段と、モータの回転角加速度を検出するモータ回転角加速度検出手段とを設けるとともに、路面反力トルク検出手段を、操舵トルク検出手段の出力と上記モータトルク検出手段の出力とを加算した値から、上記回転角加速度検出手段の出力から演算されるステアリング軸換算のモータ慣性トルクを減算して得られた値をローパスフィルタを通し、路面反力トルク検出値を得る構成としたことにより、モータ発生トルクを検出するセンサ付きの電動式パワーステアリング装置に対しては、直接モータの発生するトルクを検出することができるので、モータ電流からモータの発生するトルクを演算するよりも精度良く、路面反力トルクを検出することができる。

【0086】請求項10に記載の発明によれば、モータの回転角加速度を検出するモータ回転角加速度検出手段を設けるとともに、路面反力トルク検出手段を、操舵トルク検出手段の出力と上記モータを駆動する電流の目標値から演算されるステアリング軸換算のモータトルクの目標値とを加算した値から、上記回転角加速度検出手段の出力から演算されるステアリング軸換算のモータ慣性トルクを減算して得られた値をローパスフィルタを通し、路面反力トルク検出値を得る構成としたことにより、モータを駆動する時に一般に行われるPWMによる電流リップルが目標電流には重畳されていないので、電流リップルの影響を受けることなく精度良く、路面反力トルクを検出することができる。

【0087】請求項11に記載の発明によれば、モータに流れる電流を検出するモータ電流検出手段を設けるとともに、路面反力トルク検出手段を、モータ電流検出手段の出力から演算されるステアリング軸換算のモータトルク値をローパスフィルタを通し、路面反力トルク検出値を得る構成としたことにより、操舵トルク検出手段の出力は、モータ電流検出手段の出力に略比例するので、操舵トルク検出手段の出力を用いることなく路面反力トルクを検出できるようになるので、演算処理を簡素化できる。

【0088】請求項12に記載の発明によれば、モータに流れる電流を検出するモータ電流検出手段と、モータに接続された電源電圧を検出する電源電圧検出手段とを設けるとともに、路面反力トルク検出手段における回転角加速度検出手段を、上記電源電圧検出手段の出力とモータを駆動する際のPWM信号のデューティ比の積と上記モータ電流検出手段の出力とから演算する構成としたことにより、モータの回転角加速度を検出する際にモータ回転角センサやモータ回転角速度センサが不用になり、電動式パワーステアリング制御装置のコストを低減することができる。

【0089】請求項13に記載の発明によれば、路面反

力トルク検出手段を、操舵トルク検出手段の出力をローパスフィルタを通して得る構成としたことにより、モータ慣性トルクが路面反力トルク検出値に対して小さく、かつ、路面反力トルク付加制御を動作させる必要がある操舵範囲でのステアリング軸換算のモータトルクが路面反力トルク検出値に対して小さい電動式パワーステアリング装置に対しては、モータ慣性トルク項及び、ステアリング軸換算のモータトルク項の演算が不要となる分、電動式パワーステアリング制御装置に使用するマイコンの演算負荷を低減することが可能となる。

【0090】請求項14に記載の発明によれば、上記ローパスフィルタの折点周波数を、運転者が一般に操舵を行う周波数帯域で、かつ、ステアリング機構の摩擦トルクが路面反力トルク検出値へ及ぼす検出誤差への影響を最小限とするように設定したので、路面反力トルクの検出精度を向上させることができる。

【0091】請求項15に記載の発明によれば、上記ローパスフィルタの折点周波数を、車速検出手段の出力に応じて設定するようにしたので、車速に関わらず、路面反力トルクの検出精度を向上させることができるとともに、ハンドルの原点への復帰性を向上させることができる。

【0092】請求項16に記載の発明によれば、操舵トルク検出手段の出力を、ローパスフィルタを通して路面反力トルク検出手段に入力するようにしたので、モータ慣性トルクが路面反力トルク検出値に対して小さく、かつ路面反力トルク付加制御を動作させる必要がある操舵範囲でのステアリング軸換算のモータトルクが路面反力トルク検出値に対して小さいような電動式パワーステアリング制御装置に対しては、モータ慣性トルク項やステアリング軸換算のモータトルク項を無視可能となるので、それらの演算が不要となり、マイコンの演算負荷を低減することができる。

【0093】請求項17に記載の発明によれば、請求項6～9のいずれか記載の路面反力トルク検出手段に入力される操舵トルク検出手段の出力が、操舵トルク信号の0付近に不感帯を有するようにしたので、操舵トルク検出手段の検出時のオフセットや路面のカントによる直進時の保舵に必要なトルクの影響を受けることなく、ハンドルの原点への復帰性を向上させることができる。

【0094】請求項18に記載の発明によれば、請求項1～9のいずれか記載の路面反力トルク検出手段の出力が、路面反力トルクの0付近に不感帯を有するようにしたので、直進時での不要なトルクの影響を受けることなく、ハンドルの原点への復帰性を向上させることができる。

【0095】請求項19に記載の発明によれば、路面反力トルク付加制御手段を、ラックに、歪み測定を設けて構成したので、路面反力トルクを確実に検出することができ、ハンドルの原点への復帰性を向上させることがで

きる。

【0096】請求項20に記載の発明によれば、タイヤが路面から受ける路面反力トルクを検出し、この路面反力トルクに基づいて、ステアリング系の操舵力を補助するトルクを発生させるモータを制御するようにしたので、ドライバがハンドルを切った後、ハンドルを原点へ復帰させる際に手放しを行ってもハンドルの角度に略比例した路面反力トルクを検出でき、確実にハンドルを中心に戻すことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態1に係わる電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。

【図2】 本発明の実施の形態1に係わる電動式パワーステアリング制御装置の動作を説明するためのフローチャートである。

【図3】 戻しトルク補償器の特性を示す図である。

【図4】 本実施の形態2に係わる電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。

【図5】 本実施の形態2に係わる電動式パワーステアリング制御装置の動作を説明するためのフローチャートである。

【図6】 本実施の形態3に係わる電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。

【図7】 本実施の形態3に係わる電動式パワーステアリング制御装置の動作を説明するためのフローチャートである。

【図8】 本実施の形態4に係わる電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。

【図9】 本実施の形態4に係わる電動式パワーステアリング制御装置の動作を説明するフローチャートである。

【図10】 本実施の形態5に係わる電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。

【図11】 本実施の形態5に係わる電動式パワーステアリング制御装置の動作を説明するフローチャートである。

【図12】 本実施の形態6に係わる電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。

【図13】 本実施の形態6に係わる電動式パワーステアリング制御装置の動作を説明するフローチャートである。

【図14】 本実施の形態7に係わる電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。

【図15】 本実施の形態7に係わる電動式パワーステアリング制御装置の動作を説明するフローチャートである。

【図16】 本実施の形態8に係わる電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。

【図17】 本実施の形態8に係わる電動式パワーステアリング制御装置の動作を説明するフローチャートであ

る。

【図18】 本実施の形態9に係わる電動式パワーステアリング制御装置の動作を説明するためのフローチャートである。

【図19】 路面反力トルク検出器の不感帯特性を示す図である。

【図20】 他の路面反力トルク検出器の不感帯特性を示す図である。

【図21】 本実施の形態10に係わる電動式パワーステアリング制御装置の動作を説明するためのフローチャートである。

【図22】 本実施の形態11に係わる電動式パワーステアリング制御装置の動作を説明するためのフローチャートである。

【図23】 本実施の形態12に係わる電動式パワーステアリング制御装置の動作を説明するためのフローチャートである。

【図24】 路面反力トルク検出器のフィルタの時定数と車速との関係を示す図である。

【図25】 他の路面反力トルク検出器フィルタの時定数と車速との関係を示す図である。

【図26】 他の路面反力トルク検出器のフィルタの時定数と車速との関係を示す図である。

【図27】 本実施の形態13に係わる電動式パワーステアリング制御装置の動作を説明するためのフローチャートである。

【図28】 戻しトルク補償器の特性を示す図である。

【図29】 戻しトルク補償器のゲイン特性を示す図である。

【図30】 戻しトルク補償器のリミッタ特性を示す図である。

【図31】 他の戻しトルク補償器の特性を示す図である。

【図32】 他の戻しトルク補償器の特性を示す図である。

【図33】 他の戻しトルク補償器の特性を示す図である。

【図34】 戻しトルク補償器の1段目ゲイン特性を示す図である。

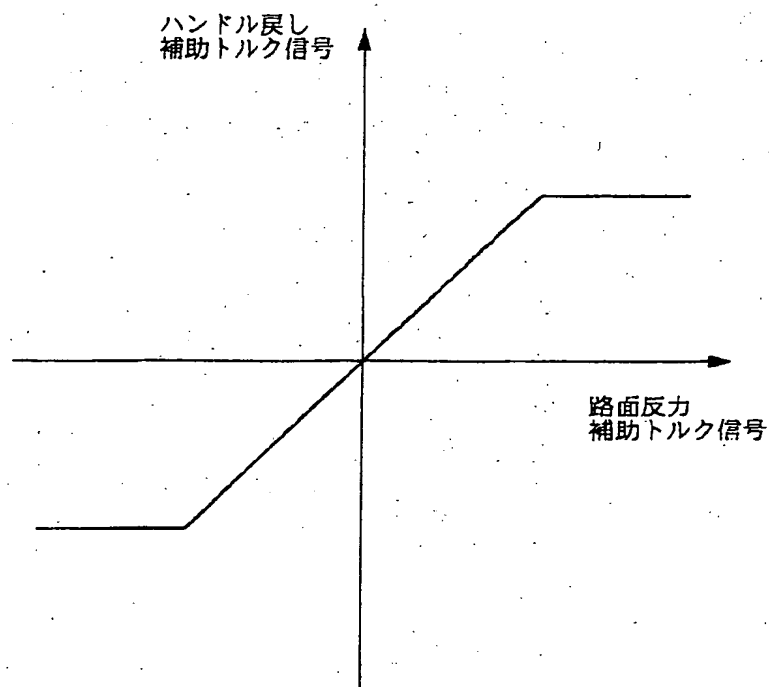
【図35】 戻しトルク補償器の2段目ゲイン特性を示す図である。

【図36】 従来の電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。

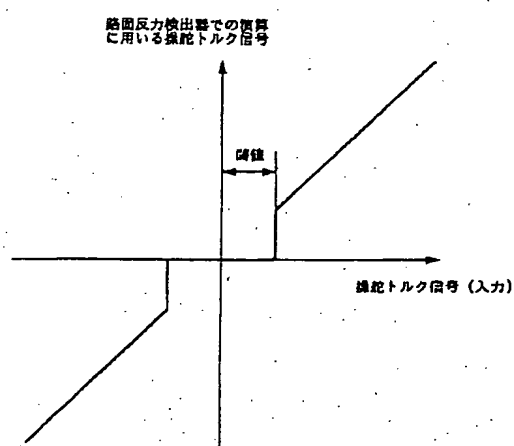
【符号の説明】

1 操舵トルク検出器、2 操舵トルク制御器、3 ダンピング補償器、4 慣性補償器、5、5S モータ速度検出器、6 モータ加速度検出器、7 モータ電流決定器、8 判定器、9 モータ駆動器、10 モータ、11 モータ電流検出器、12 第1の加算器、13 第2の加算器、14 車速検出器、15、15S 路面反力トルク検出器、16、16S 切り込みトルク制御器、17 戻しトルク補償器、20 モータトルク検出器。

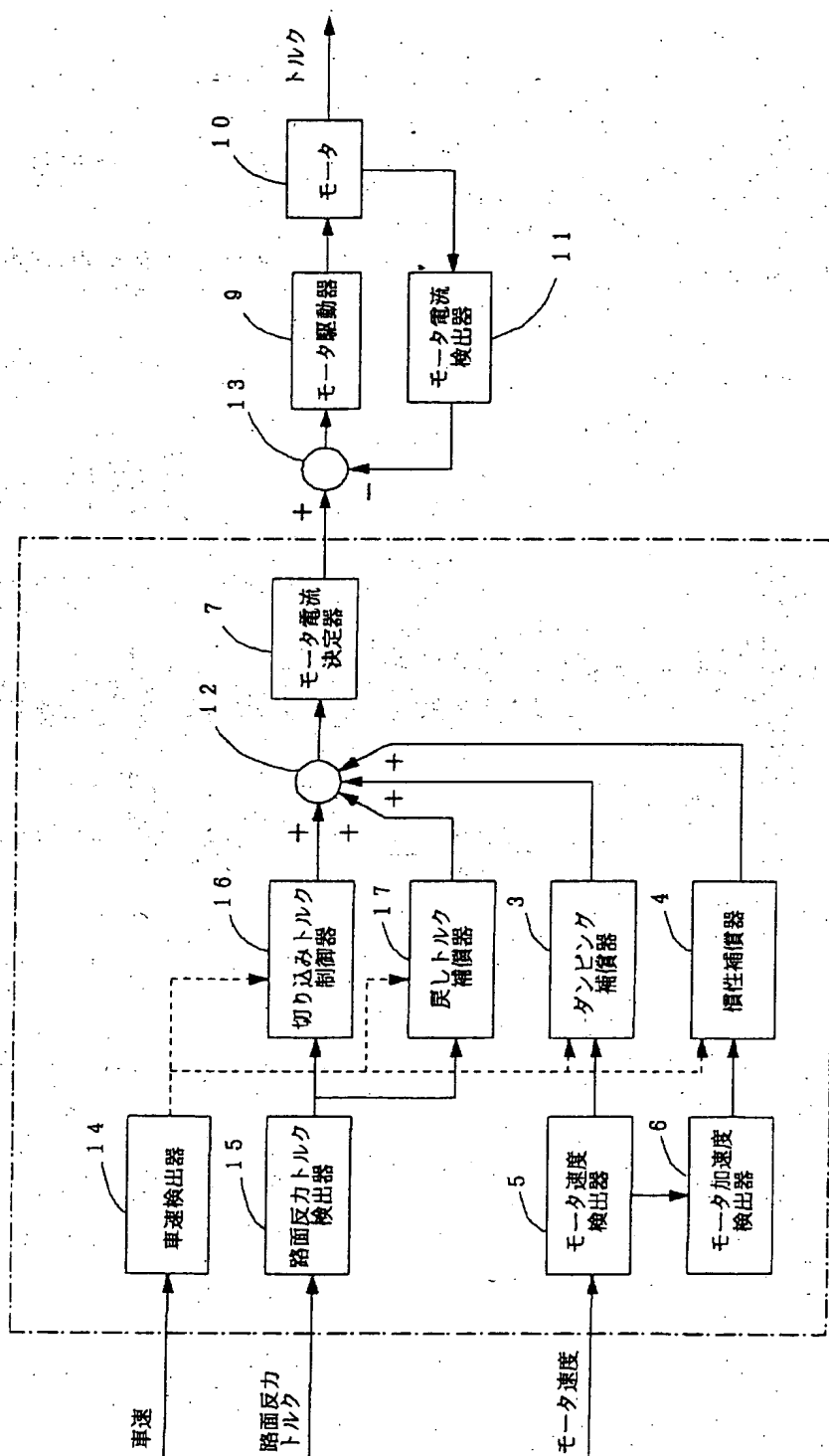
【図3】



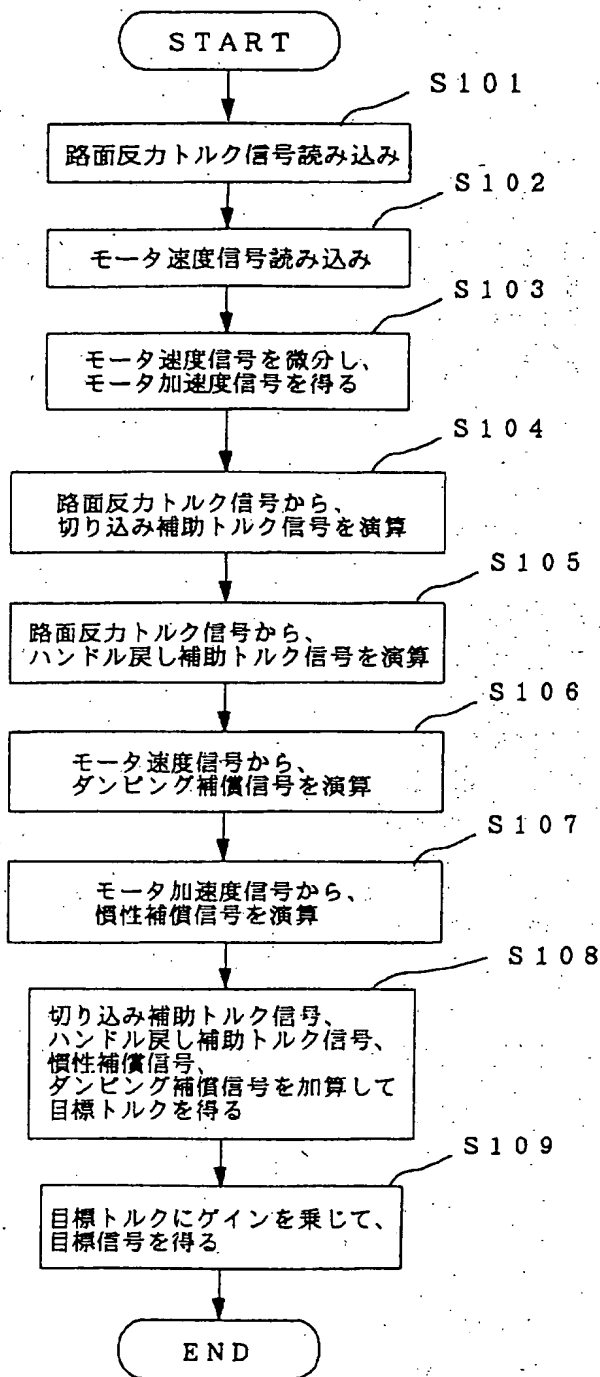
【図19】



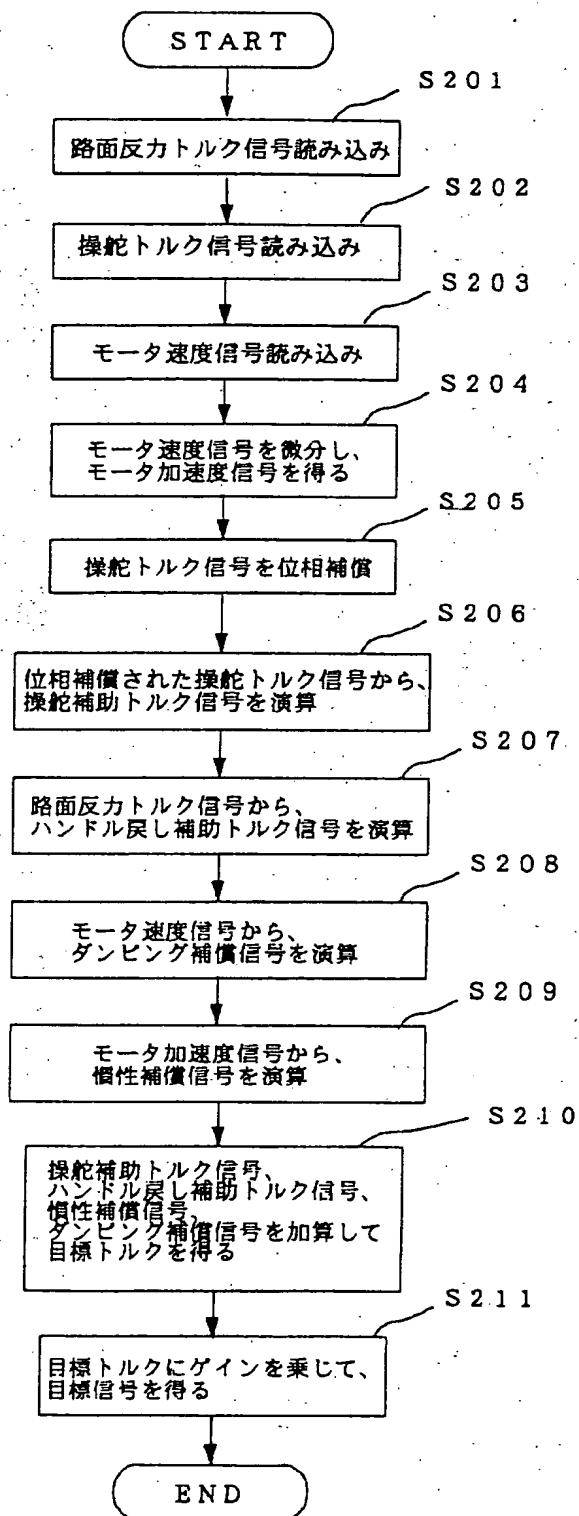
【図1】



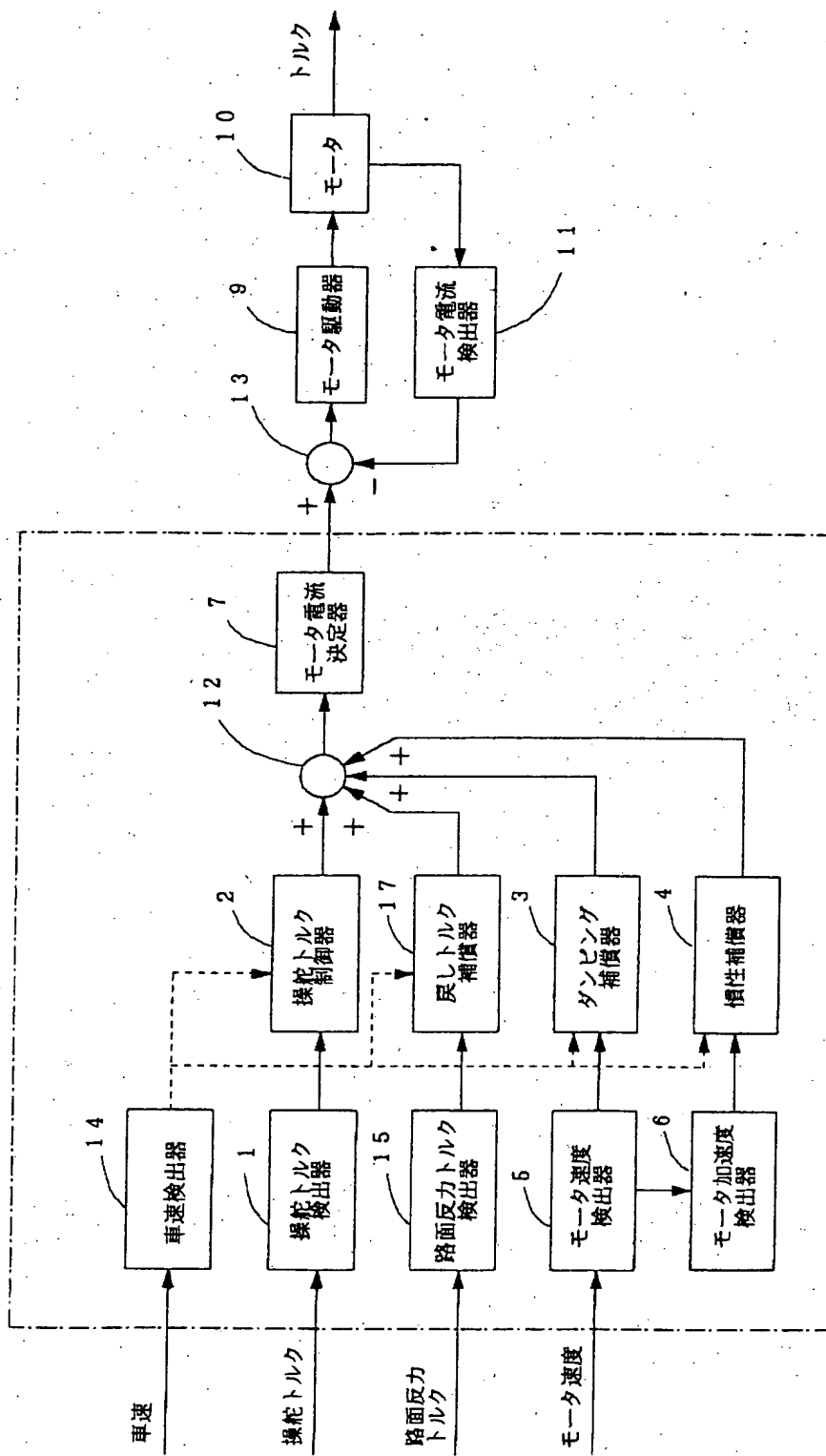
【図2】



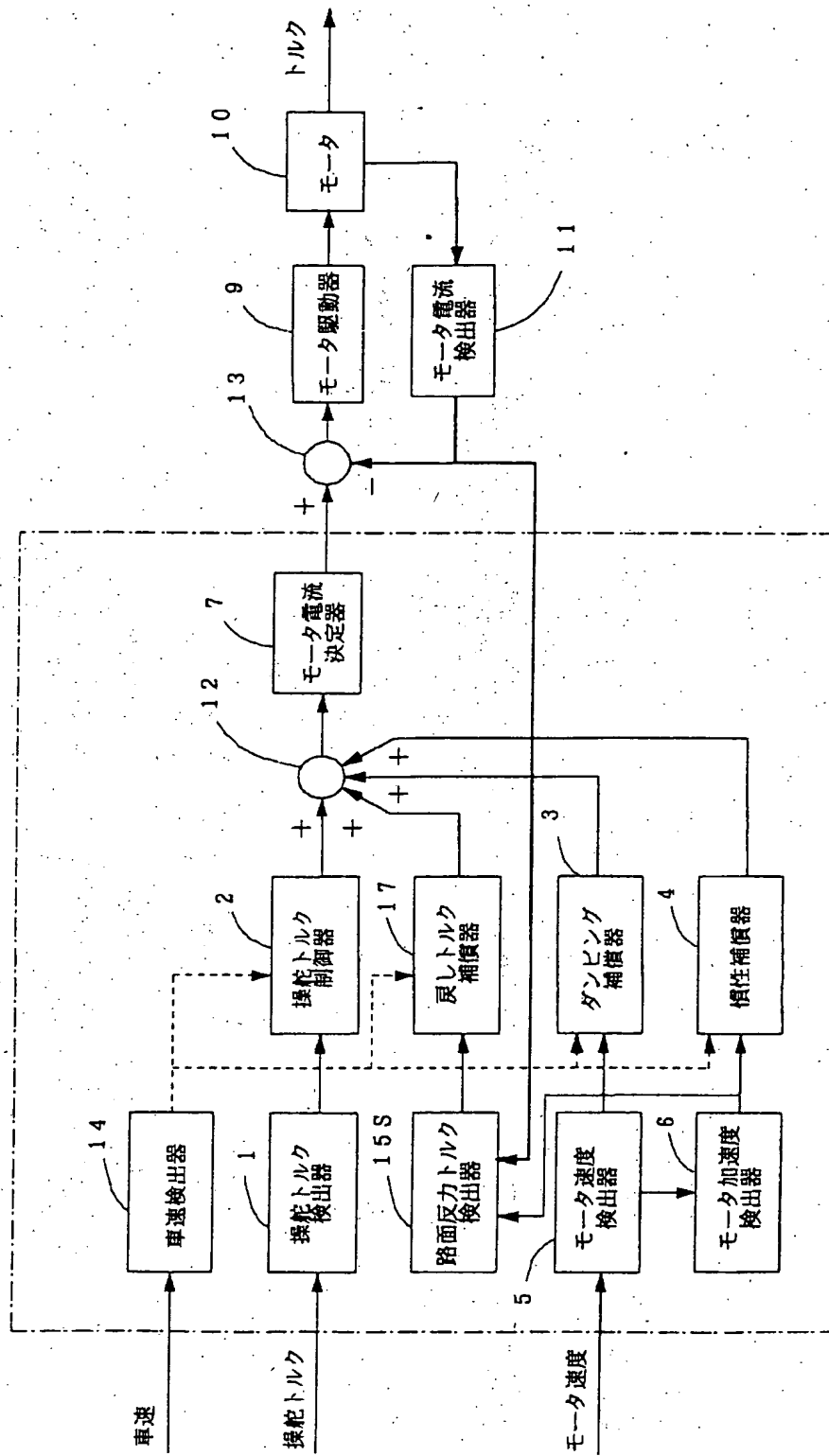
【図5】



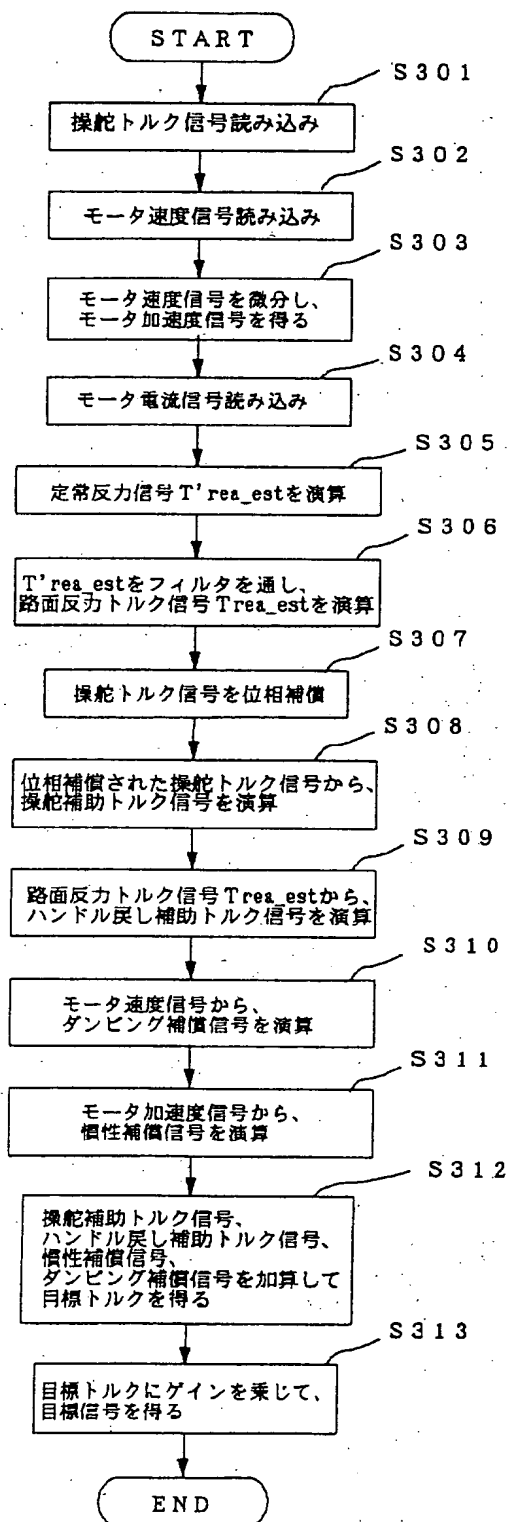
【図4】



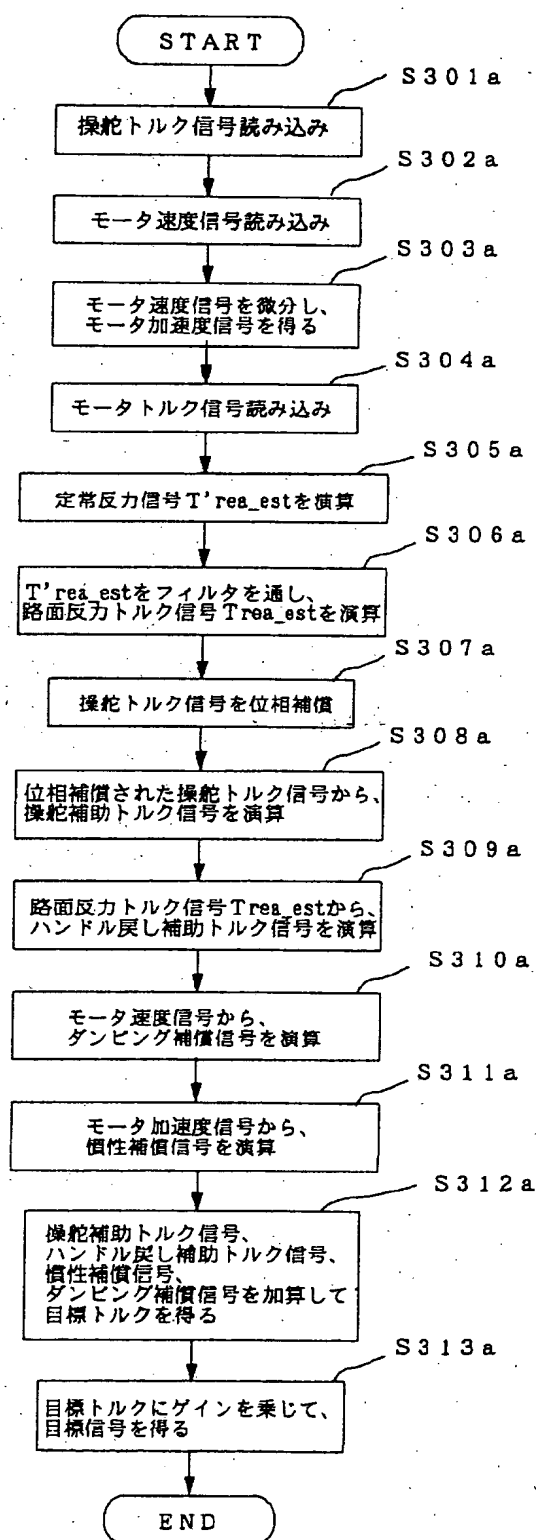
【図6】



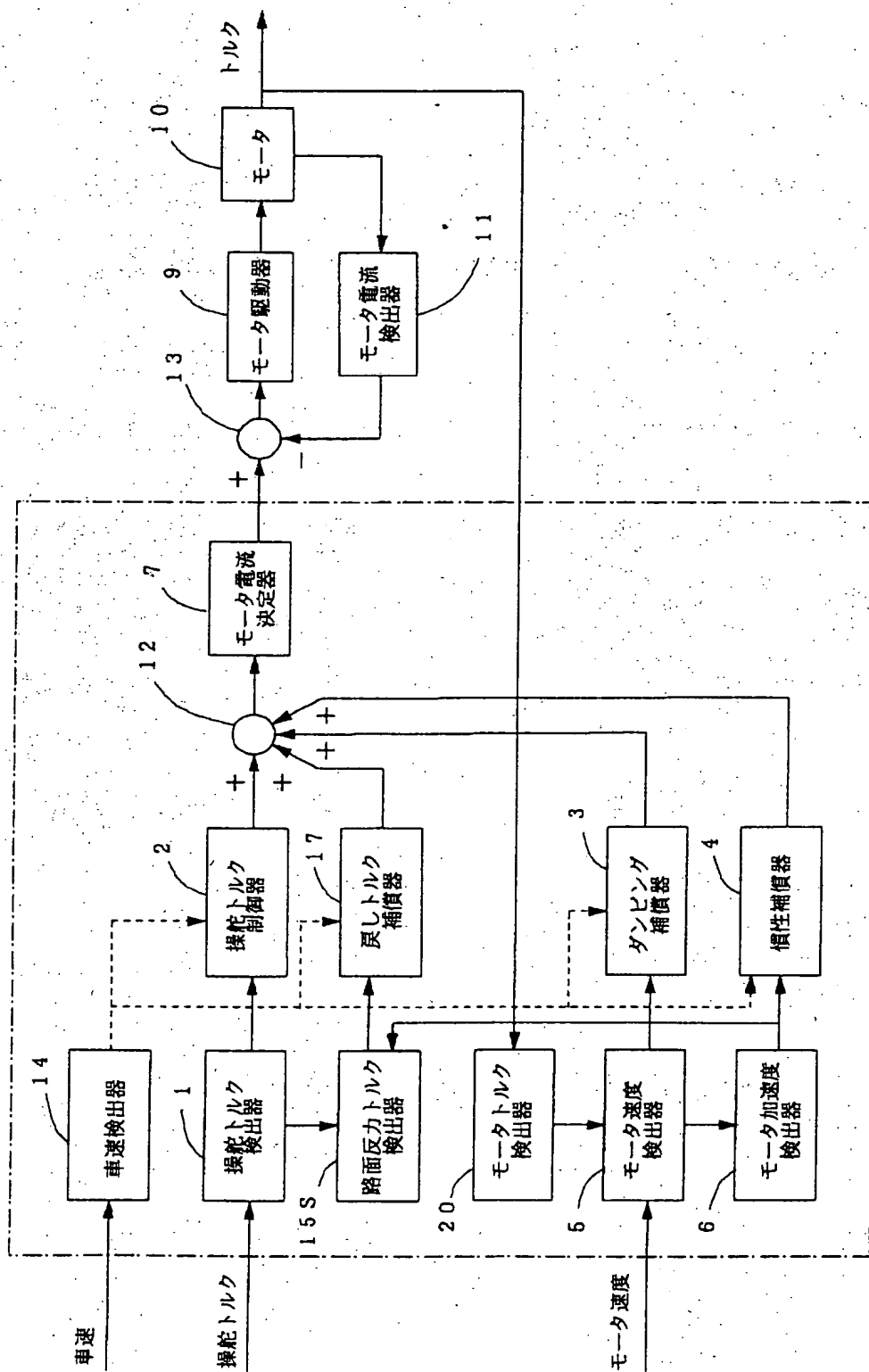
【図7】



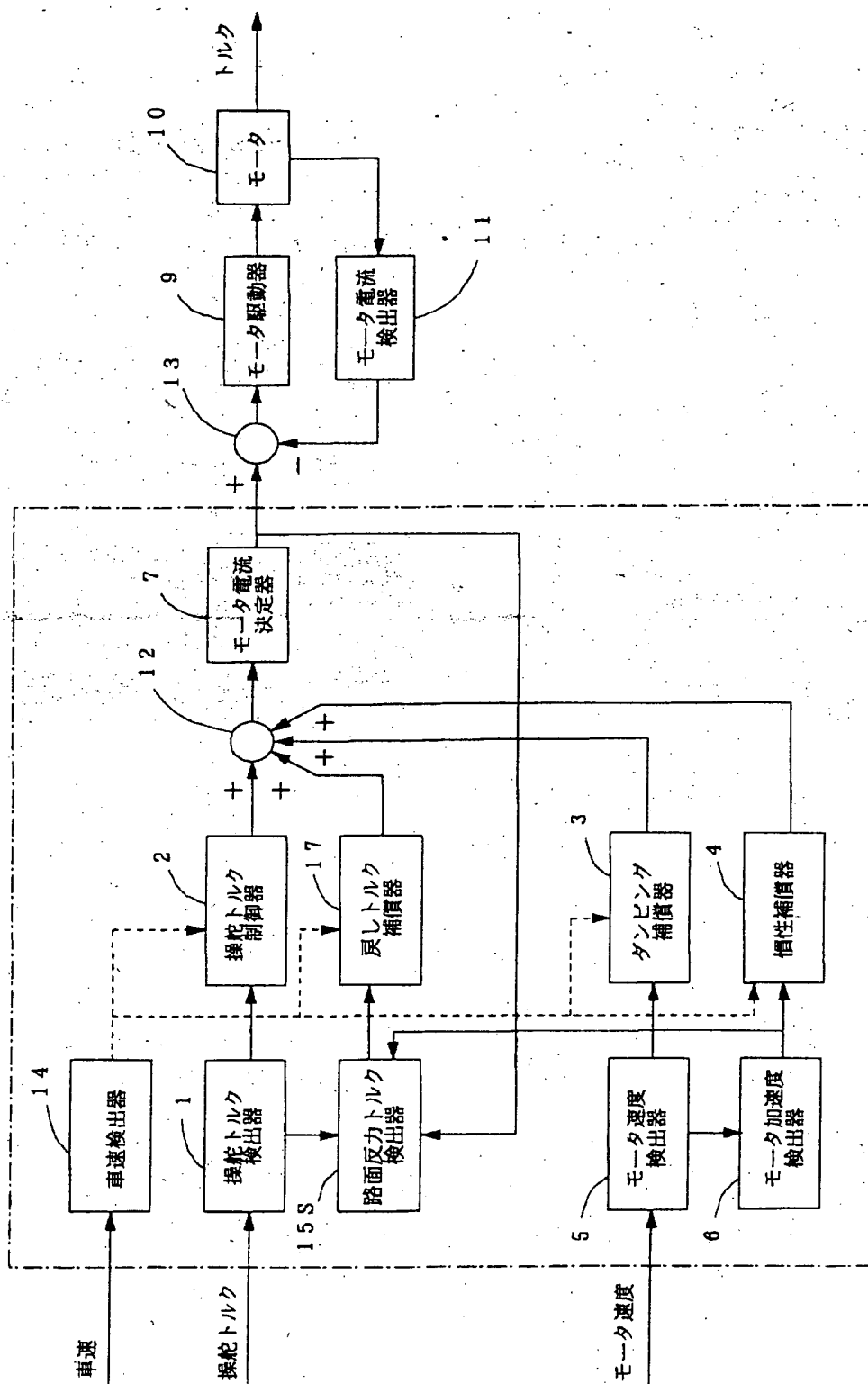
【図9】



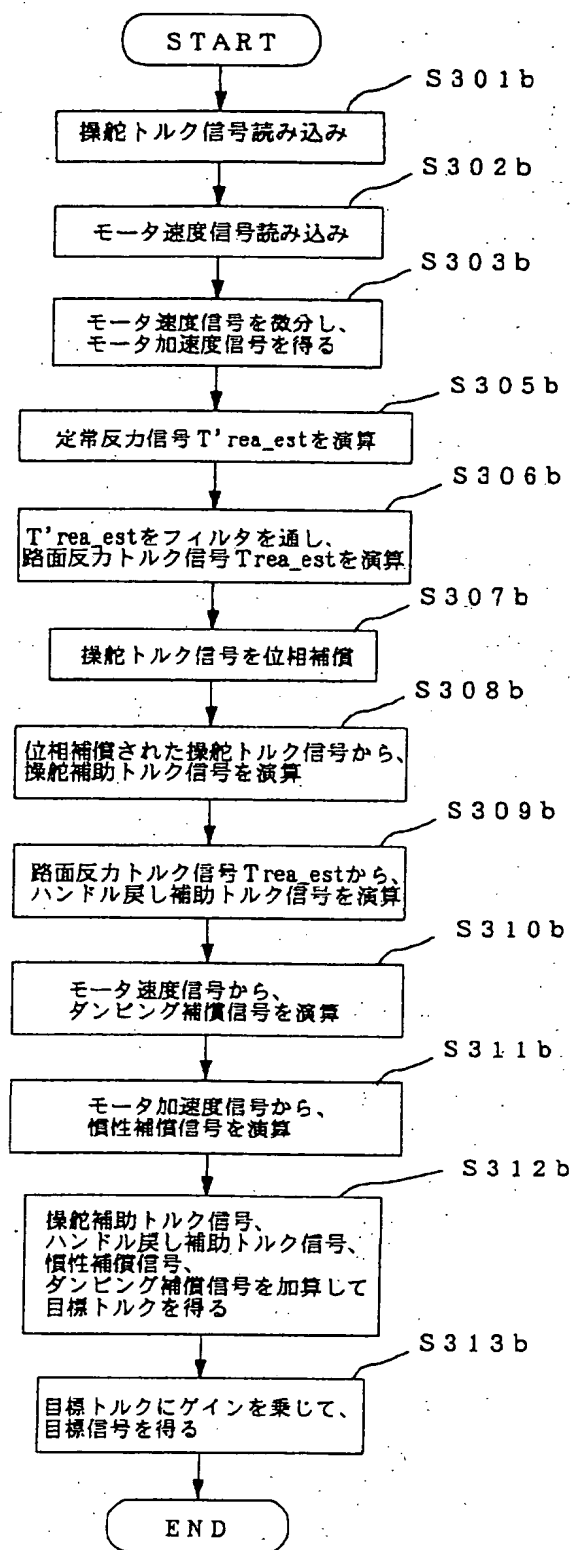
【図8】



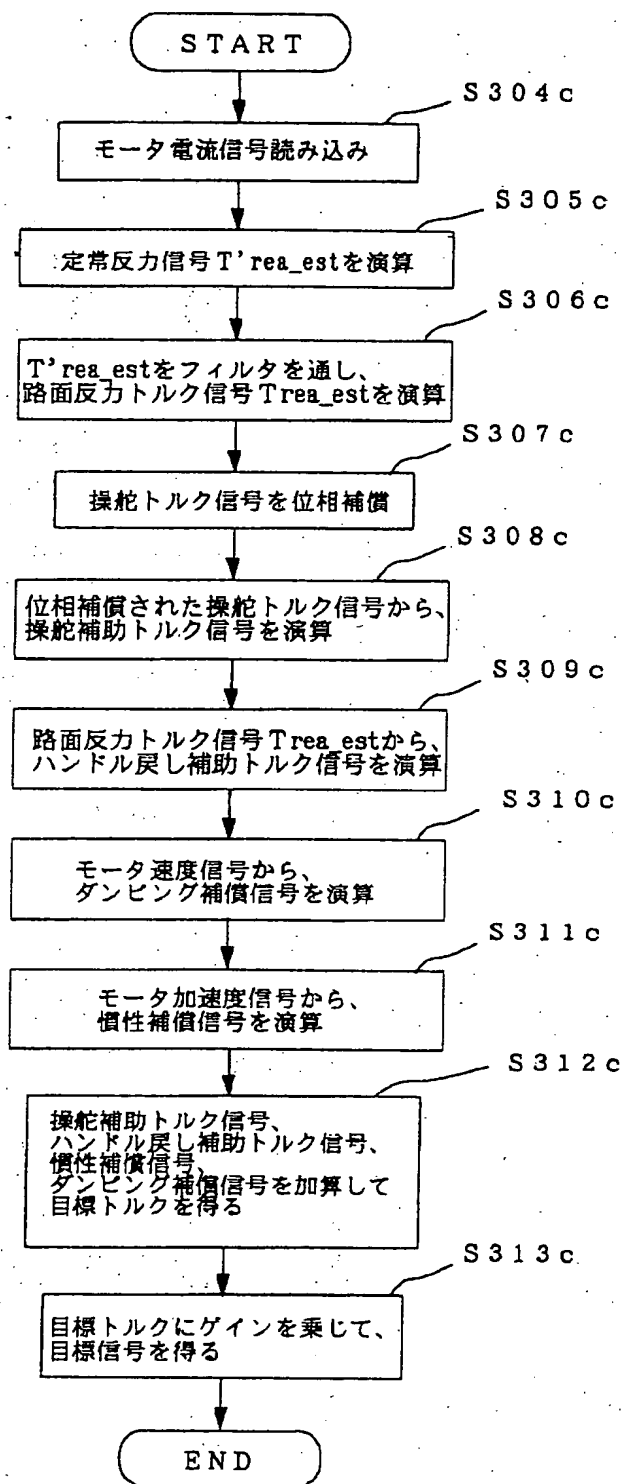
【図10】



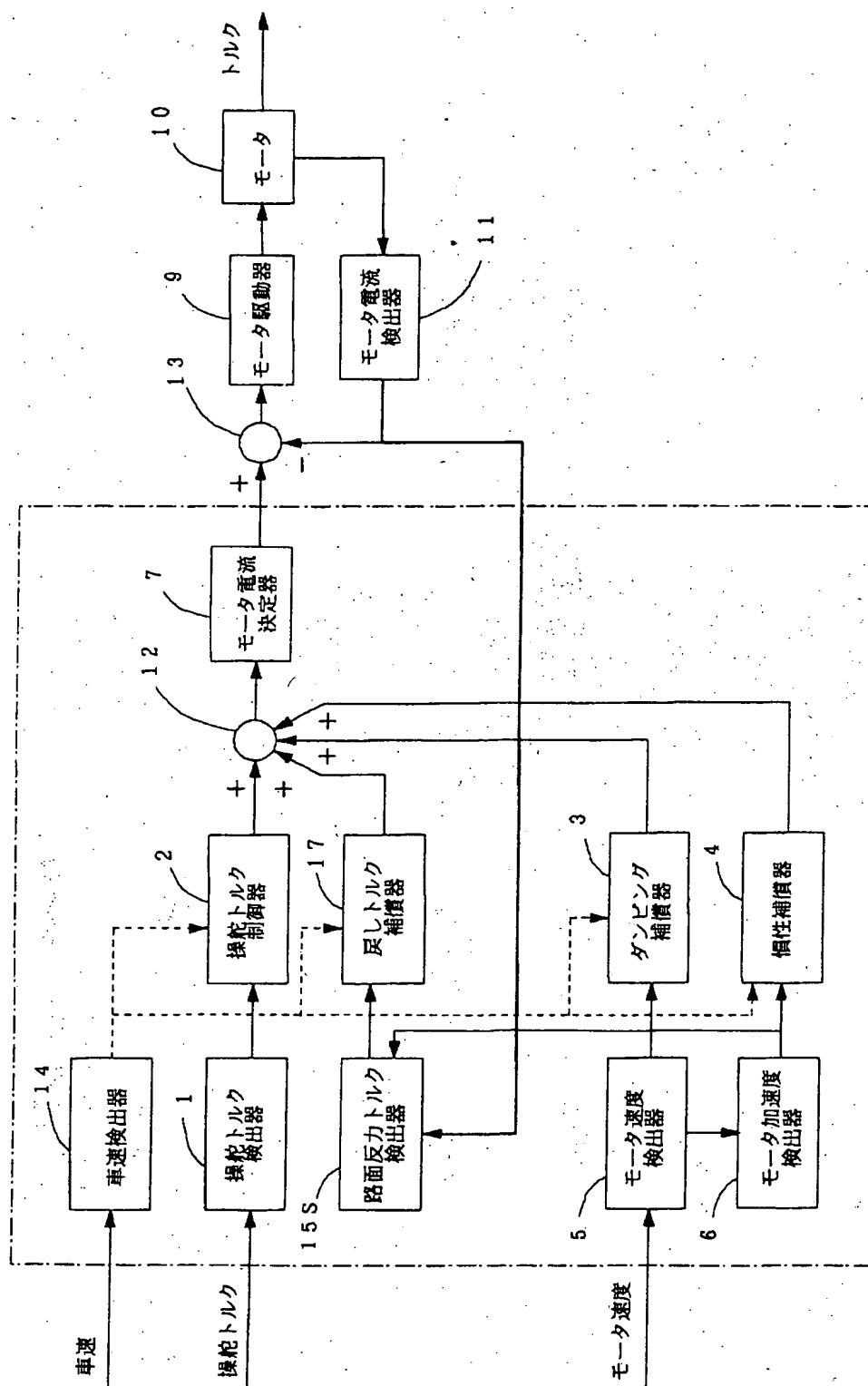
【図11】



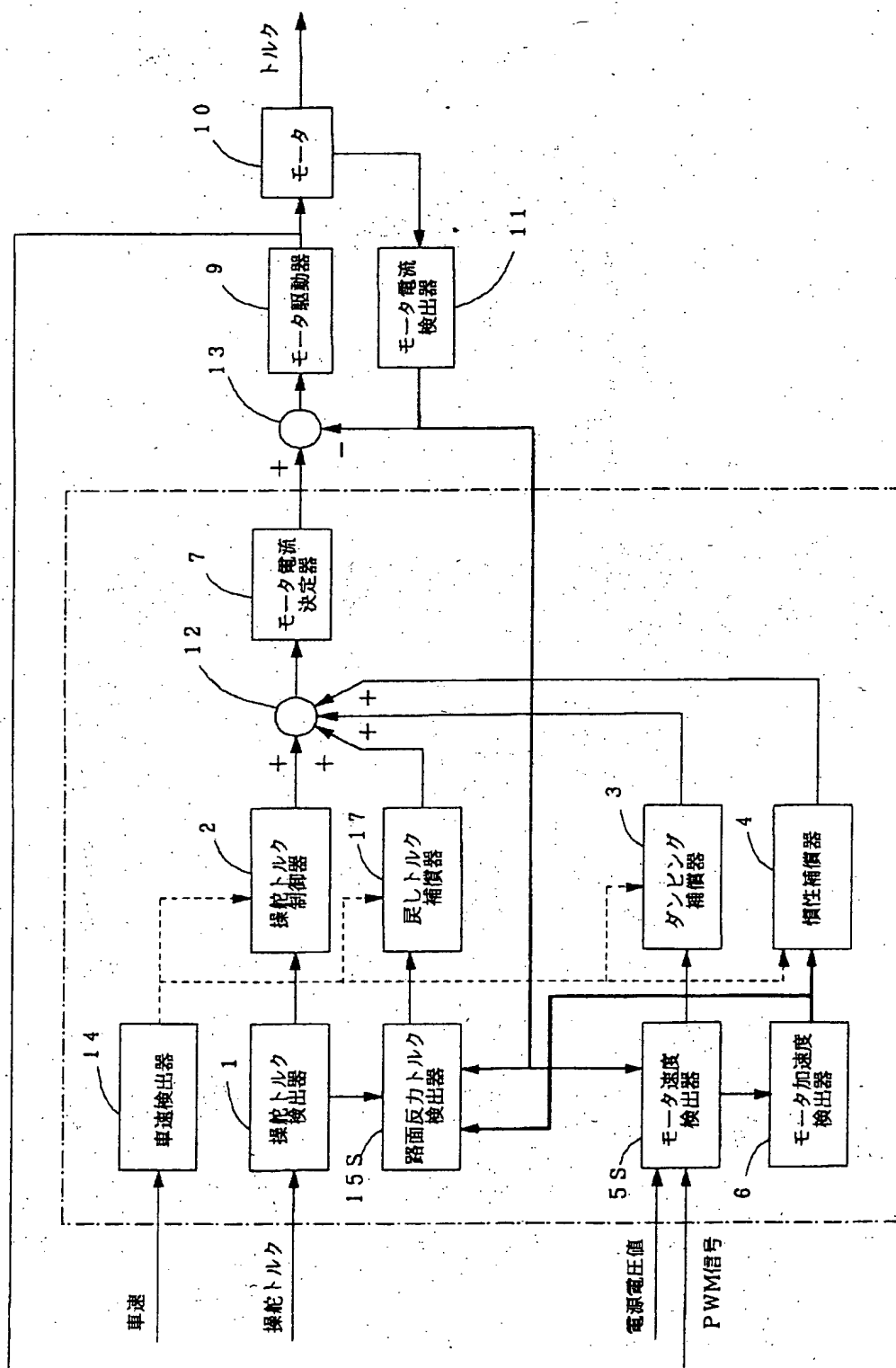
【図13】



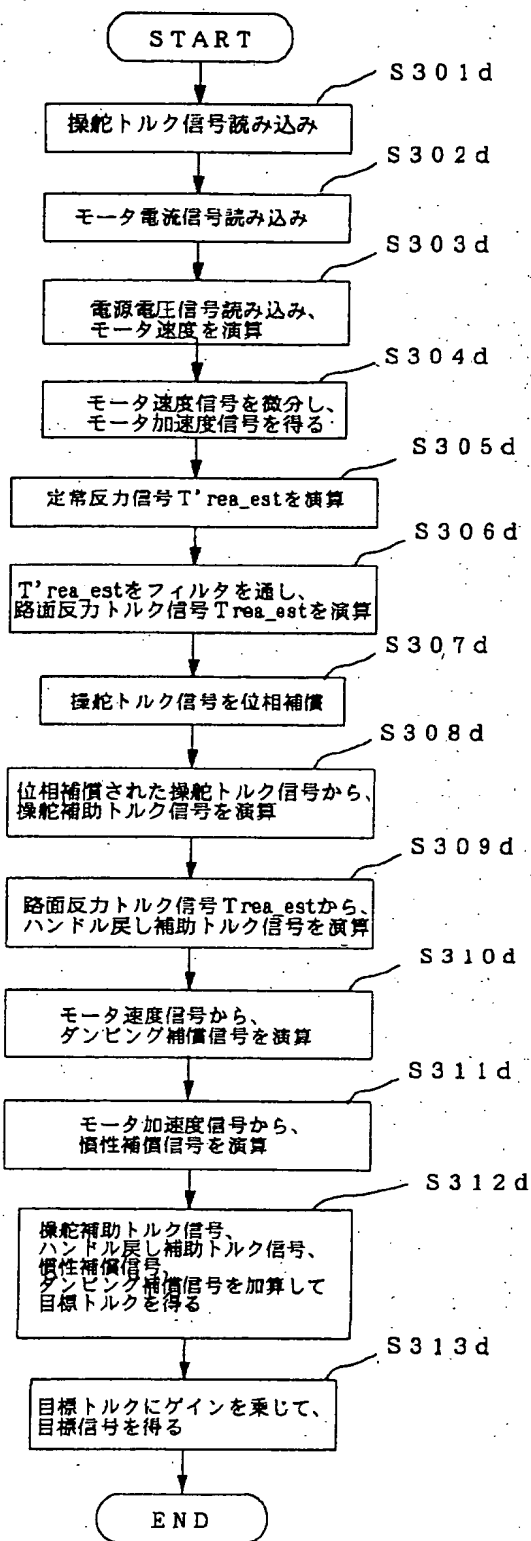
【図12】



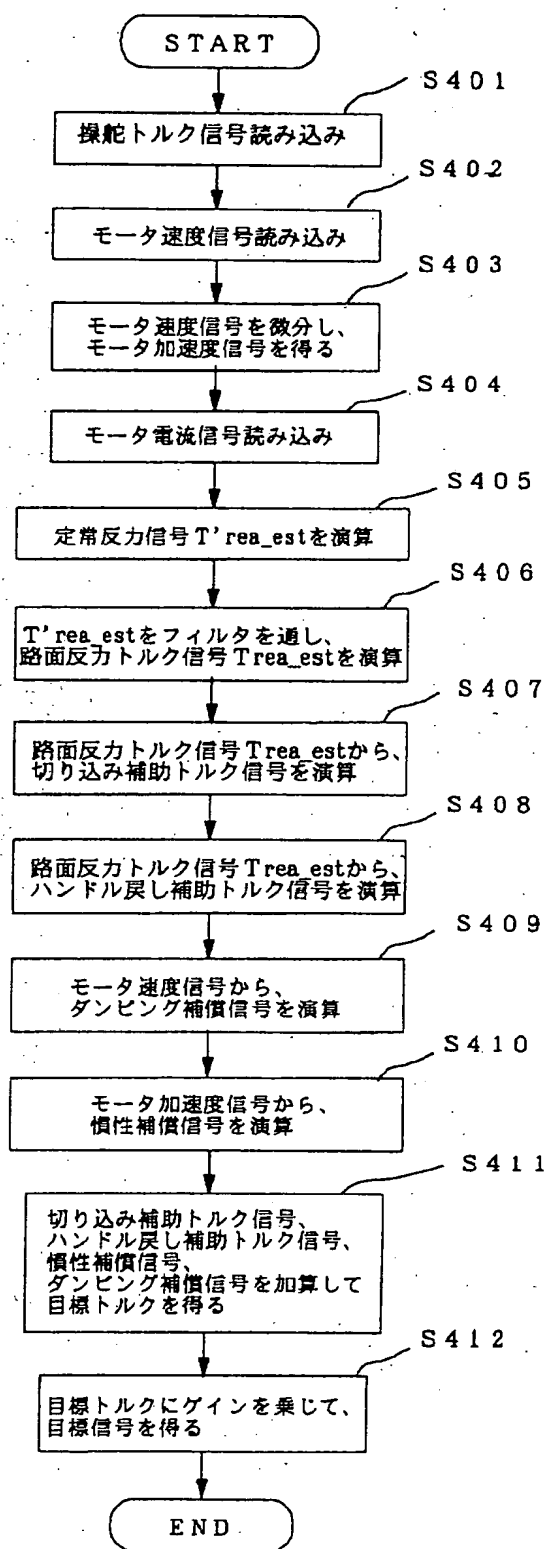
【図14】



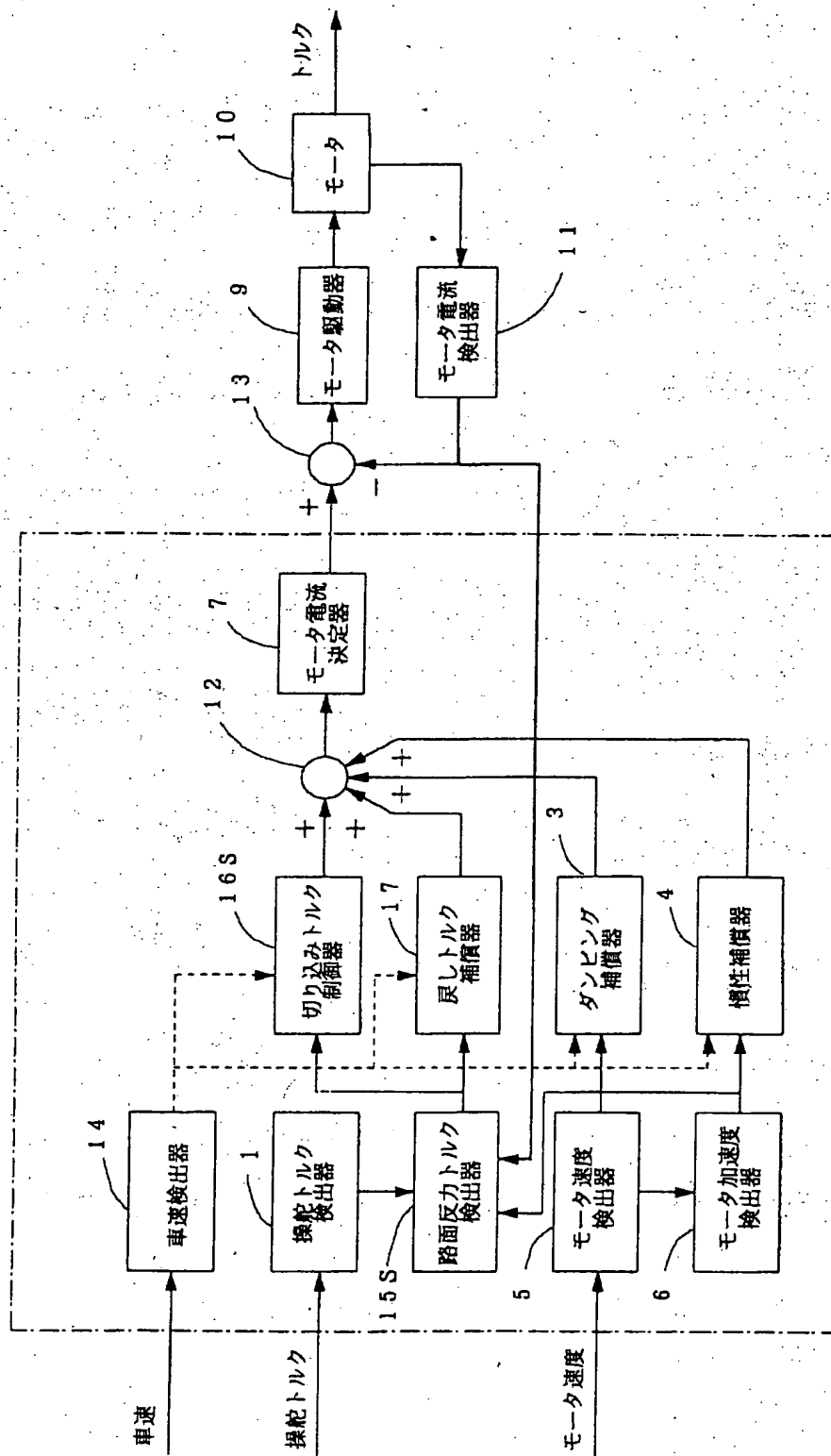
【図15】



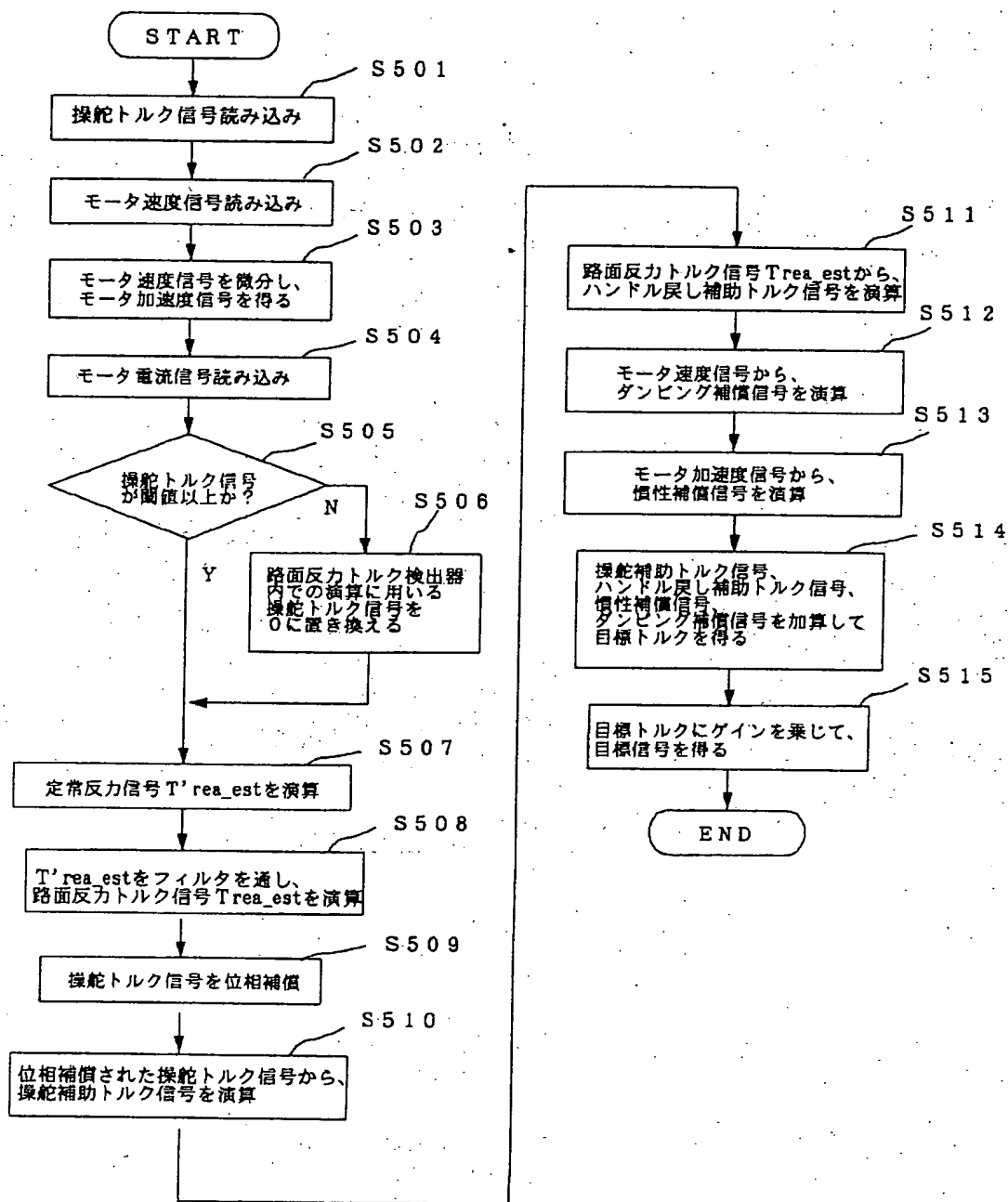
【図17】



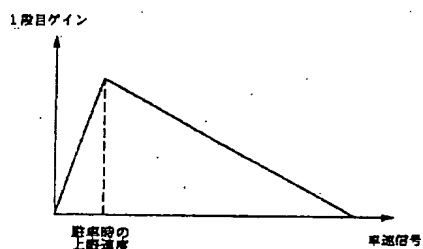
【図16】



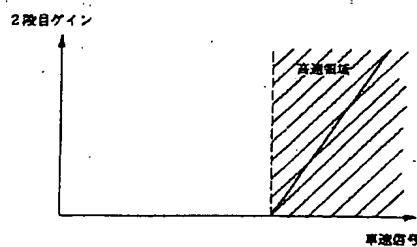
【図18】



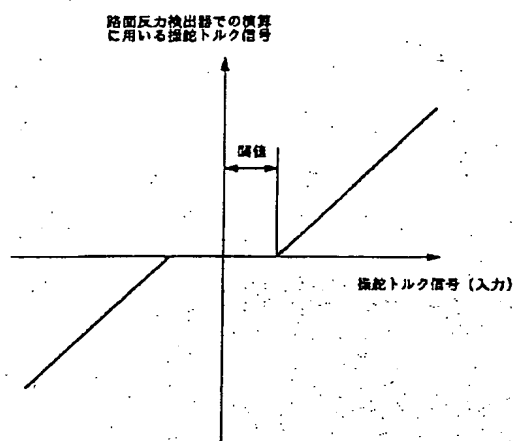
【図34】



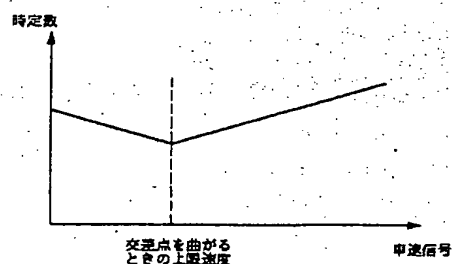
【図35】



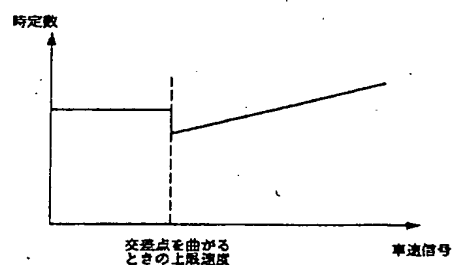
【図20】



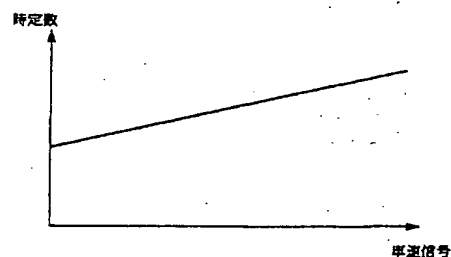
【図24】



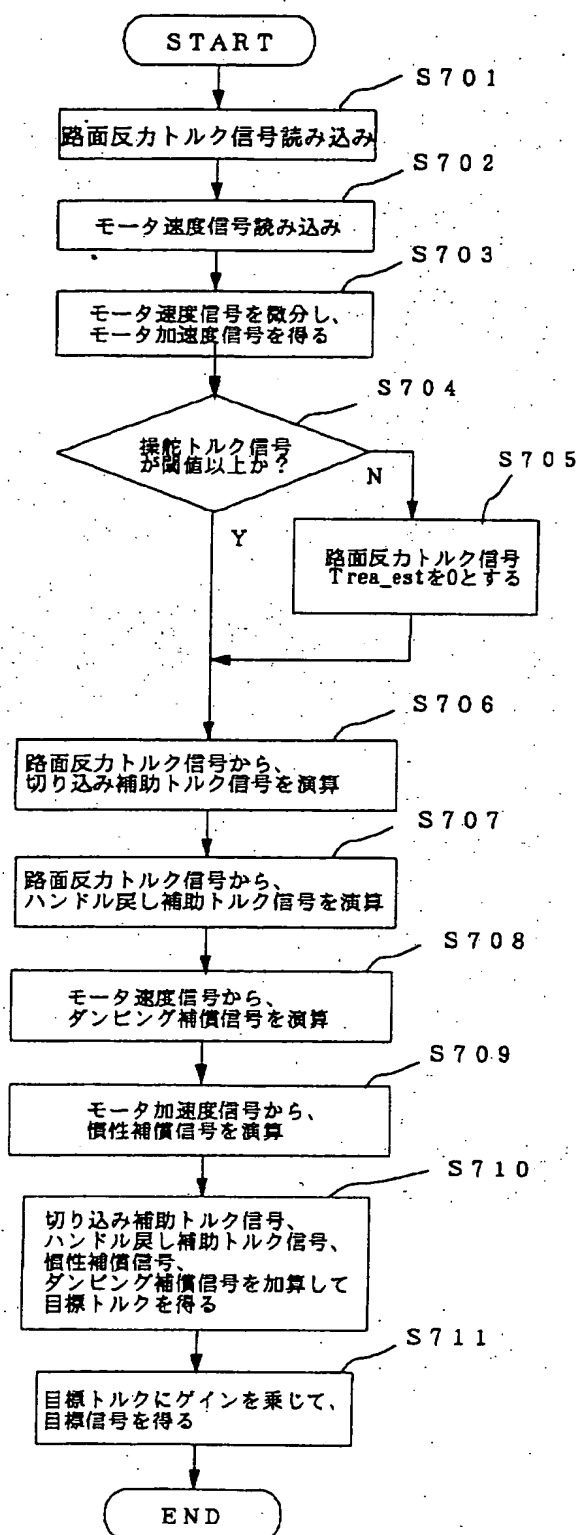
【図25】



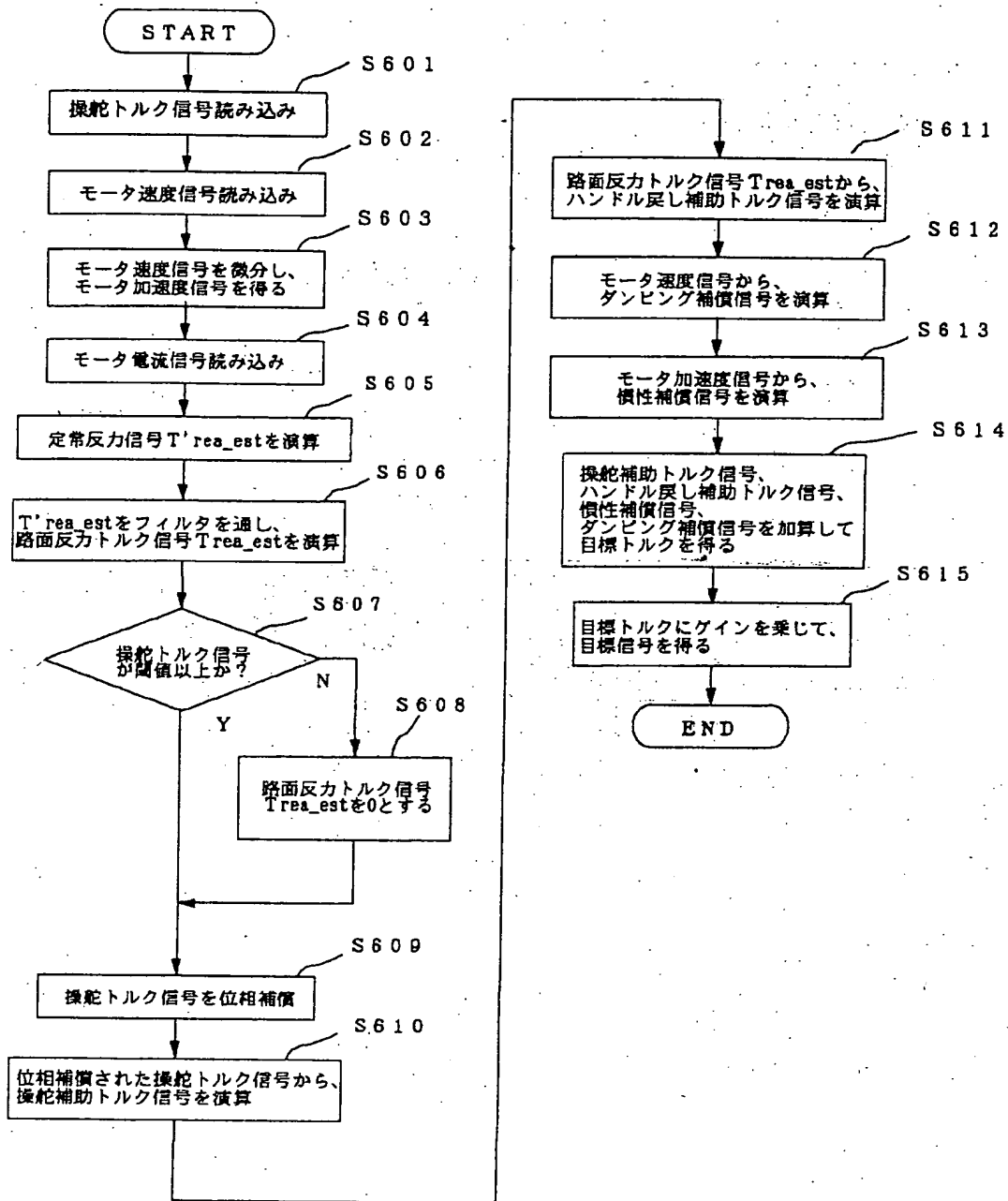
【図26】



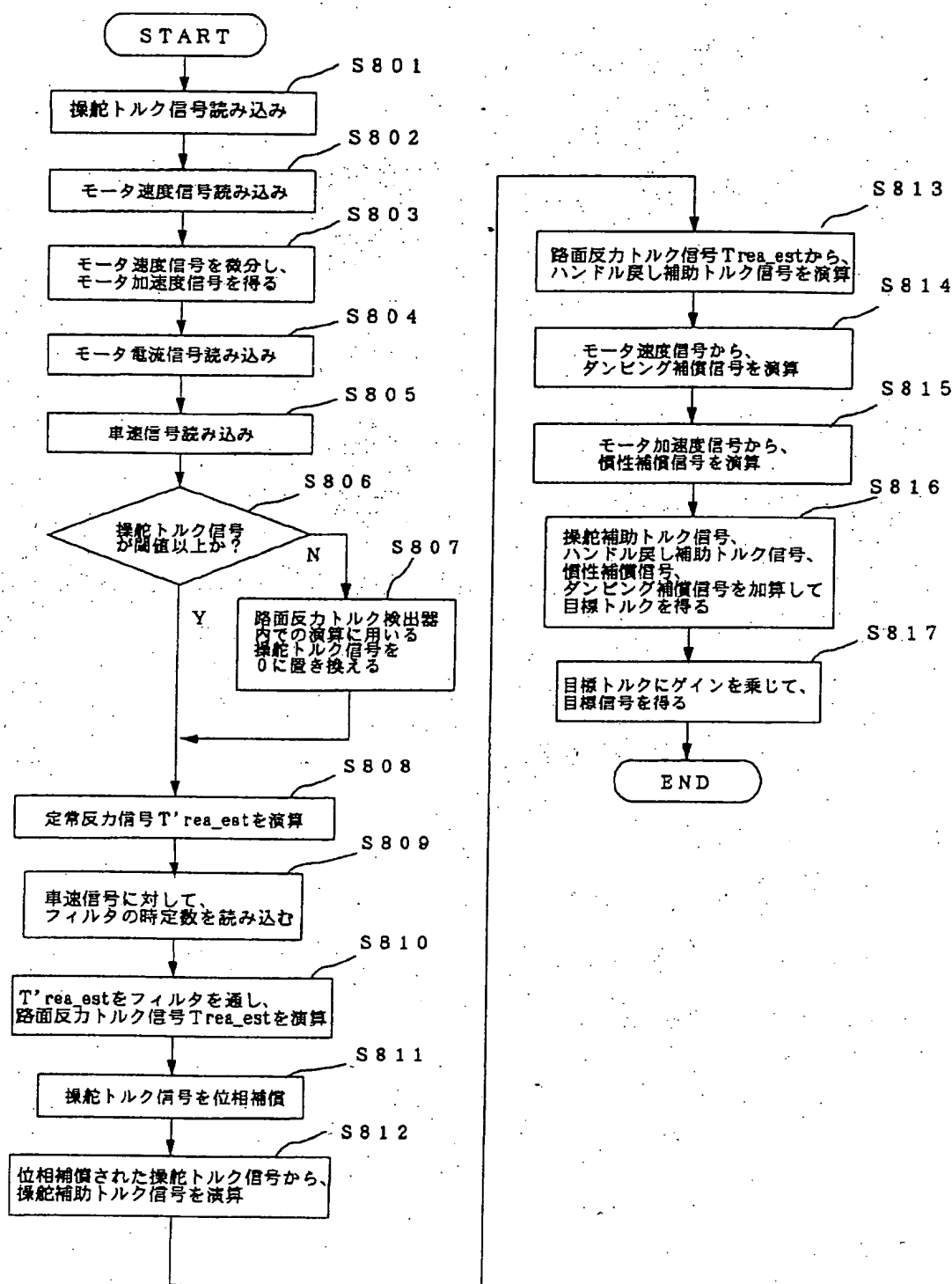
【図22】



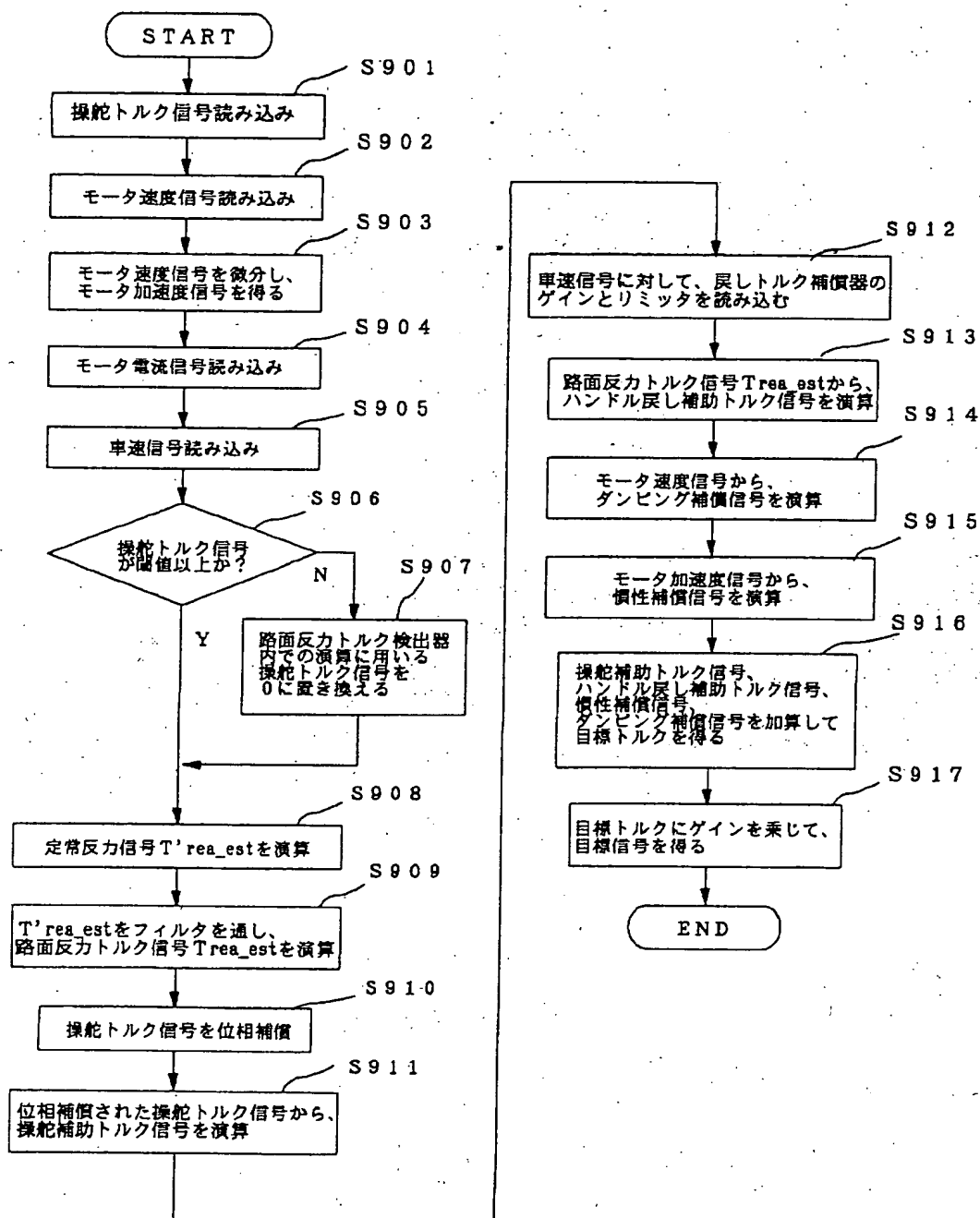
【図21】



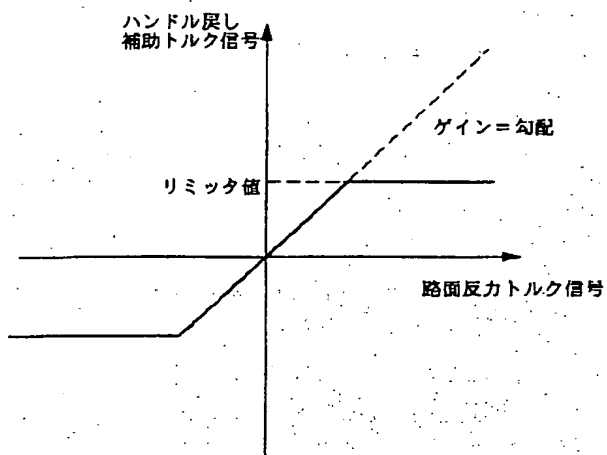
【図23】



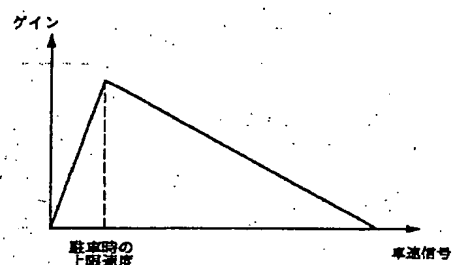
【図27】



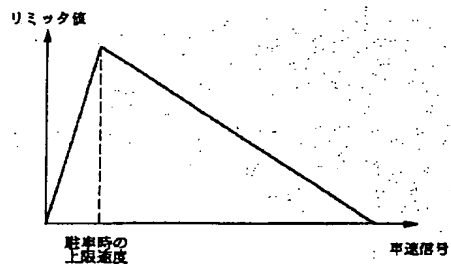
【図28】



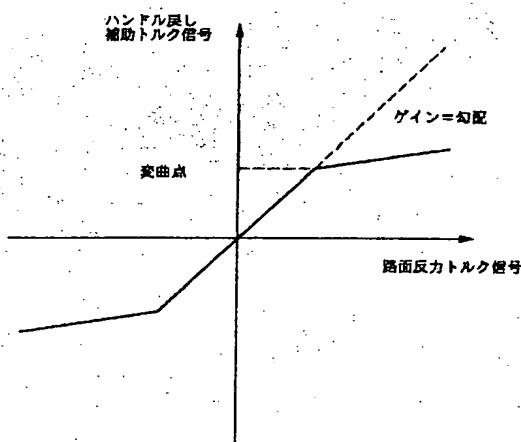
【図29】



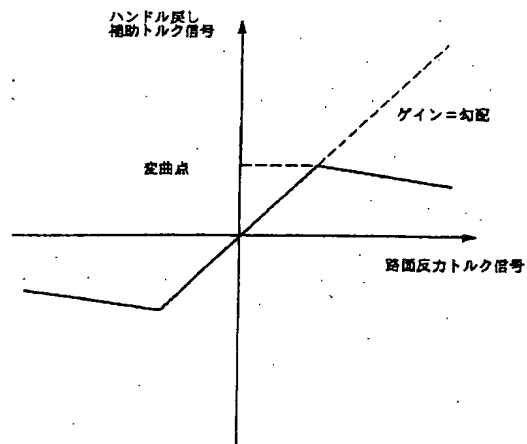
【図30】



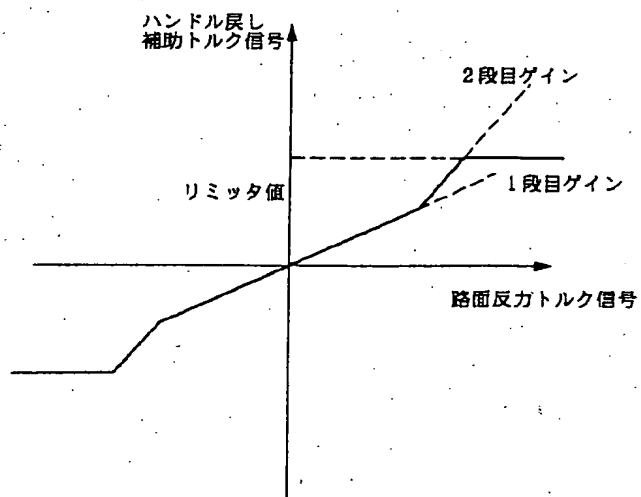
【図31】



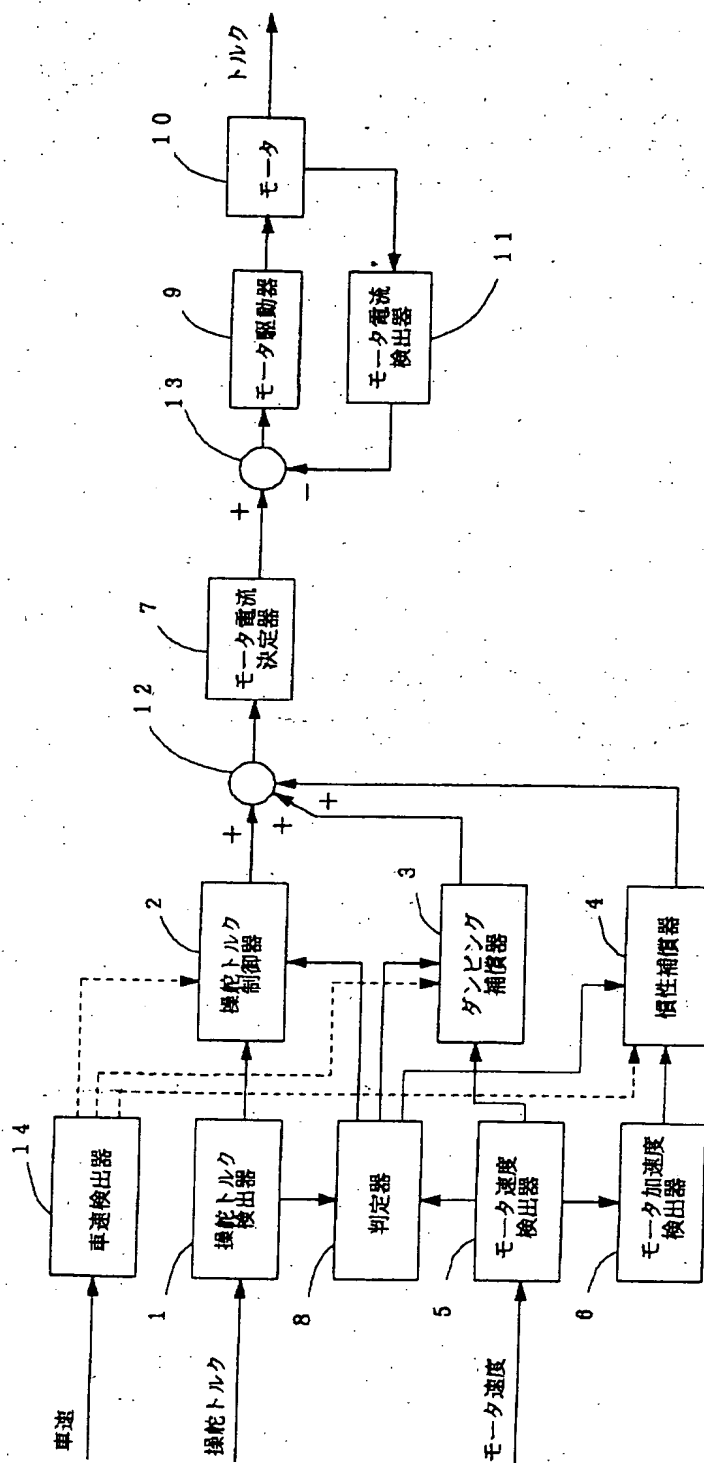
【図32】



【図33】



【図36】





フロントページの続き

(72)発明者 西山 亮治
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内
(72)発明者 喜福 隆之
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(72)発明者 和田 俊一
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内
Fターム(参考) 3D032 CC01 CC08 DA01 DA15 DA23
DA62 DA63 DA64 DA65 DB03
DC03 DC12 DC21 DD01 DD06
DD10 DD17 DE05 EA01 EB11
EC23
3D033 CA03 CA13 CA16 CA20 CA21
CA28